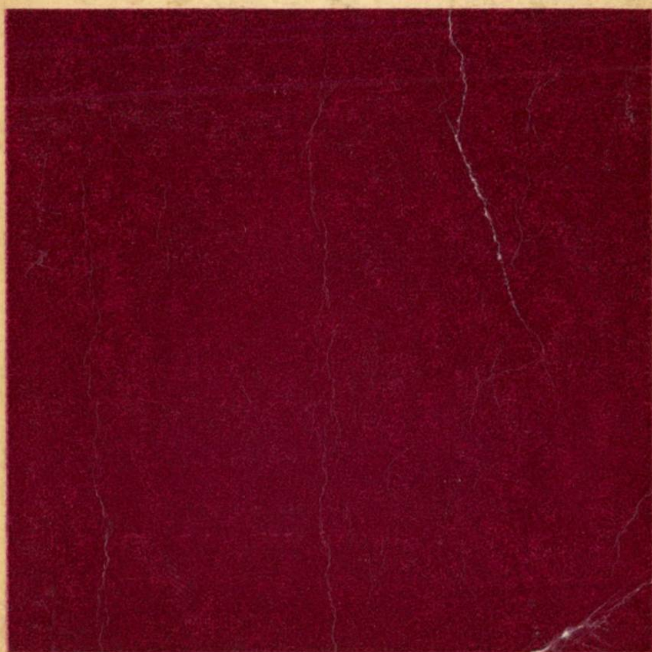
EB

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

B. G. KUZNEŢOV

Ştiinţa în anul 2000



EDITURA ENCICLOPEDICĂ ROMÂNĂ

Ştiinţa
în anul 2000

În româneşte de
DAN RĂUTU şi CONST. VREJOIU

EB

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

Seria „SINTEZE"

B. G. Kuznețov

Știința în anul 2000



Editura enciclopedică română

București • 1971

Б. Г. КУЗНЕЦОВ

НАУКА В 2000 ГОДУ

Издательство „Наука“
Москва 1969

1 De ce anul 2000?

Sensul științei contemporane și, strîns legat de acesta, însuși sensul vieții omenirii în epoca noastră, conținutul obiectivelor activității ei, nu pot fi definite decît cu ajutorul unor prognoze pe termen destul de lung. Vom încerca aici să arătăm că acestea nu pot fi definite fără prognoze care să cuprindă cîteva decenii, adică prognoze care să meargă pînă la începutul celui de-al treilea mileniu al erei noastre. Lucrarea de față își propune să se ocupe de aceste prognoze, care pun în lumină semnificația tendințelor actuale ale științei, precum și de schimbările intervenite ca urmare a acestor tendințe atît în reprezentările științifice despre lume, cît și în metodele științifice prin care omul acționează asupra naturii.

Putem recurge aici la următoarea analogie. Să ne închipuim o experiență fizică în cursul căreia se produc noi particule elementare. Durata reacției care generează aceste particule este foarte mică : de ordinul a 10^{-22} secunde. Pentru a determina însă tipul particulelor care au apărut, masa lor, sarcina lor electrică, timpul lor de viață trebuie să cunoaștem comportarea pro-

babilă a fiecăreia dintre ele, mişcările ei, modificarea traiectoriei ei într-un cîmp magnetic sau electric dat, lungimea acestei traiectorii pînă la dezintegrarea care marchează dispariţia particulei. Numai asemenea cunoştinţe despre destinul viitor al particulei conferă un sens fizic unor probleme cum sînt : apartenenţa ei la un tip sau altul, sarcina, masa, timpul de viaţă al particulei.

Caracterizarea progresului ştiinţific contemporan prezintă o asemănare cu determinarea destinului probabil al particulei şi a apartenenţei ei la un anumit tip. Astăzi este deosebit de dificil să precizăm caracterul tendinţelor care s-au conturat în ştiinţă. Şi mai greu este să determinăm efectul tehnic al acestor tendinţe, rezultatele la care vor duce ele în cazul înfăptuirii lor practice. Şi cu atît mai greu este să determinăm efectul economic şi social al tendinţelor actuale din ştiinţă şi al realizării lor. Or, fără asemenea prognoze nu putem spune nici măcar în ce constau aceste tendinţe actuale. Particulei îi putem da un nume, îi putem determina tipul dacă reuşim să schiţăm destinul ei probabil şi traiectoria ei. În mod analog, pentru a defini tendinţele progresului tehnico-ştiinţific, pentru a le putea da o denumire, pentru a le clarifica sensul, avem nevoie de anumite ipoteze ştiinţifice, de prognoze tehnico-ştiinţifice şi de previziuni economice.

Dar de ce am ales pentru pronosticurile noastre o perioadă de 30 de ani, de ce căutăm să aflăm care va fi destinul ştiinţei, al tehnicii şi al economiei în proxima perioadă de circa trei decenii ? De ce am luat ca dată de referinţă anul 2000 ? Oare liniile ce caracterizează tendinţele actuale şi care le continuă nu pot fi prelungite mai departe, pînă la o sută, două sute de ani sau chiar pentru o perioadă mai lungă ? Şi nu cumva pentru unele aspecte ar fi mai semnificative prognoze de durată mai scurtă, de trei, cinci sau zece ani ?

Este limpede pentru oricine că anul 2000 este o dată convenţională. Convenţională, dar nu arbitrară. Ea indică ordinul de mărime a perioadei în cursul căreia se vor realiza tendinţele actuale ale progresului ştiin-

țific și tehnico-științific. Este posibil că aceste tendințe se vor realiza nu în treizeci, ci în douăzeci sau patruzeci de ani. Ne-am propus însă să definim un anumit ordin de mărime a perioadei respective. Dar nu numai atît. Data pe care o reprezintă anul 2000 implică ideea unui anumit complex unitar de mutații conexe, ideea realizării lor de ansamblu ca rezultat comun al aceluiași proces, și anume la un anumit termen aproximativ, comun diferitelor ramuri și căi ale progresului. În ce constă acest complex?

Aceasta este întrebarea la care își propune să răspundă volumul pe care-l oferim cititorului. În prezentul capitol introductiv ne vom limita la un răspuns preliminar, cu un caracter cît se poate de general. El constă în următoarele. Credem că în cursul unei perioade pe care o estimăm la cîteva decenii și pe care o identificăm în mod convențional cu ultima treime a secolului nostru se va realiza ceea ce promite astăzi *fizica neclasică.*

Aici se cer unele lămuriri. În secolul al XVII-lea a apărut știința clasică. Ea a fost denumită astfel deoarece legile fundamentale ale naturii descoperite de Galilei, Descartes și Newton, urmați de o serie de mari gînditori din secolele XVIII și XIX, au fost considerate un timp adevăruri definitive care aveau să rămînă pentru totdeauna canoane tot atît de imuabile ale gîndirii științifice cum au ajuns pentru artă canoanele întruchipate în capodoperele de arhitectură și sculptură ale antichității clasice.

Fizica clasică, și în primul rînd legile mecanicii expuse în lucrarea lui Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica,* s-a considerat îndreptățită într-un fel să pretindă rolul unor „table ale legii" în știință. Începînd cu Newton, știința se dezvoltă fără să respingă ceea ce a fost descoperit și verificat de experiență ; ea generalizează și precizează legile vechi, determină domeniile aplicabilității lor, arată cum se modifică aceste legi în domenii noi. Știința clasică nu s-a mulțumit însă cu atît, ea a pretins un rol și mai important. Majoritatea gînditorilor din secolele XVIII și XIX au crezut că legile mecanicii descoperite de

Newton constituie un fundament imuabil al științei Știința clasică nu este formată numai din anumite axiome (cum ar fi independența masei corpului de energia mișcării sale sau continuitatea energiei, respectiv posibilitatea ca ea să crească cu cantități oricît de mici), ci implică și certitudinea că aceste afirmații sînt într-adevăr axiome. Și nu este vorba numai de un sentiment subiectiv de certitudine. Prin esența lor, noțiunile științei clasice nu reclamă pentru a fi înțelese alte asertiuni, care le-ar putea contrazice.

Ce înțelegem atunci prin fizica neclasică ? Uneori se încearcă să i se dea o definiție pur negativă : ea *nu este* clasică, ea renunță în cazul general la postulatele fundamentale de la care pornește fizica clasică. În anul 1900 Planck a presupus că emiterea energiei poate să aibă loc numai prin intermediul unor cantități minime, bine determinate, așa-numitele cuante. După cîțiva ani, Einstein a arătat că din caracterul relativ al spațiului, timpului și mișcării (aceste noțiuni relativiste au fost opuse noțiunilor newtoniene de spațiu absolut, timp absolut și mișcare absolută) rezultă dependența masei corpului de viteză, și prin urmare de energia mișcării lui. Cînd viteza se apropie de limita ei superioară de 300 000 km pe secundă, masa corpului tinde spre infinit. Einstein a presupus în continuare că și masa m a unui corp în repaus depinde de energia lui internă E. Dacă vom folosi pentru a măsura energia și masa unitățile uzuale, energia va fi egală cu masa înmulțită cu pătratul vitezei c a luminii. Avem formula $E=mc^2$.

În deceniul al treilea al secolului nostru a apărut o teorie neclasică cu caracter și mai paradoxal, mecanica cuantică. Bohr și Heisenberg au arătat că în general o particulă în mișcare nu posedă, la un moment dat, o poziție bine determinată în spațiu și o viteză bine determinată. Aceste noi corelații, proprii unor procese foarte depărtate de experiența cotidiană, au produs o impresie uimitor de puternică asupra unor cercuri largi. Ar fi fost de așteptat ca problema unor corpuri care se mișcă cu o viteză comparabilă cu viteza luminii (căci despre asemenea corpuri este vorba în teoria relativității) să nu provoace nici o emoție unui

om care nu se ocupă cu fizica teoretică. Tot atît de depărtată de interesele lui este soarta unui electron care trece printr-o fantă foarte îngustă, de dimensiuni apropiate de acelea ale electronului. Faptul că în cadrul unei „experiențe" pur mintale, nerealizabilă în mod practic, trecerea prin fantă schimbă viteza electronului și o face nedeterminată —, un asemenea fapt s-ar părea că nu e menit să producă o impresie prea puternică asupra unor cercuri largi. Și totuși emoția a fost enormă. Atît mecanica cuantică cît și teoria relativității nu numai că au stîrnit un larg interes, dar au adus o schimbare simțitoare în stilul de gîndire asupra naturii. Probabil că o revoluție întrucîtva asemănătoare a fost provocată în spirite de dispariția noțiunilor absolute de „sus" și „jos" atunci cînd s-a statornicit ideea unui Pămînt în formă de glob. O răscolire asemănătoare a minților a provocat și astronomia din secolele XVI—XVII, care a pus capăt ideii unui centru absolut imobil al universului.

Datorită noilor teorii s-a schimbat nu numai concepția despre legile fundamentale ale științei, ci și concepția despre știință ca atare. Teoria relativității, iar mai tîrziu mecanica cuantică, nu numai că puneau în locul vechilor legi fundamentale altele noi, dar aceste legi noi se deosebeau de cele vechi și prin faptul că ele nu mai aveau pretenția de a da soluția definitivă a problemelor fundamentale ale naturii. În secolul al XIX-lea Helmholtz considera că obiectivul suprem și final al științei constă în reducerea întregii imagini a lumii la forțe centrale total subordonate mecanicii lui Newton. Fizicianul din zilele noastre nu mai încearcă să pună în locul acestui țel un altul, diferit dar tot atît de definitiv. Asemenea iluzii, bune pentru „epoca victoriană", au dispărut pentru totdeauna. Fizica neclasică este un edificiu care nu crește numai în înălțime, dar se și adîncește, în căutarea unei temelii tot mai profunde, dar care niciodată nu va fi ultima. În acest sens rațiunea umană nu numai că a reușit să vadă un nou univers, dar s-a văzut și pe sine însăși sub un aspect nou.

Efectul fizicii neclasice nu a fost numai negativ. Omenirea a sesizat intuitiv că păşeşte într-o epocă de un dinamism superior, că astăzi ştiinţa nu aduce numai schimbări încă neclare, dar, fără doar şi poate, profunde în viaţa oamenilor, ci şi că viaţa însăşi va deveni o schimbare continuă ; că se schimbă nu numai concepţiile ştiinţifice, ci şi potenţele ştiinţei, că înrîurirea pe care ea o exercită asupra vieţii va modifica continuu forţele materiale şi spirituale ale omenirii.

Pe la mijlocul secolului al XX-lea, revelaţia intuitivă s-a transformat într-o prognoză clară. Astăzi ştim în ce constă efectele fizicii neclasice, efectele trăsăturii ei fundamentale, respectiv ale caracterului deschis, neînchistat al noilor concepţii despre lume, ale revizuirii inevitabile a principiilor fundamentale ale ştiinţei. Să vedem deci cum se conturează astăzi efectele fizicii neclasice.

Fizica clasică conferise şi ea un caracter dinamic, mobil, schimbător atît concepţiilor ştiinţifice, cît şi influenţei ştiinţei asupra forţelor materiale şi spirituale ale omenirii. În cazul ei era însă vorba de un dinamism de alt ordin, nu atît de înalt. Se schimbau reprezentările ştiinţifice particulare, dar principiile fundamentale rămîneau nezdruncinate. Modificarea reprezentărilor ştiinţifice particulare a avut ca urmare, la început, schimbări sporadice în nivelul tehnic al producţiei ; spre sfîrşitul perioadei clasice, la începutul secolului al XX-lea, am asistat însă la o creştere neîntreruptă a acestui nivel. Începînd cu revoluţia industrială din secolul al XVIII-lea, producţia se transformă în ştiinţă aplicată. Progresul tehnic se dezvoltă — sporadic sau continuu — din schemele ştiinţei clasice, el ia aceste scheme drept cicluri ideale de care trebuie să se apropie tehnica producţiei. Întreaga istorie a termotehnicii clasice este istoria apropierii treptate de ciclul ideal al lui Carnot, de schema fizică ideală a trecerii căldurii de la corpul încălzit la corpul mai rece. Această trecere permite transformarea căldurii în lucru mecanic. Dar nici schemele fizicii ideale nu au rămas imobile ; celor vechi li s-au adăugat altele noi. Ştiinţa a descoperit noi legi ale conservării, noţiunea de entropie, structura molecu-

lelor, evoluţia naturii anorganice şi organice. Numărul schemelor care serveau practicii drept canoane directoare creştea neîncetat. Dacă ar fi să vorbim, de pildă, despre energetică, principalul canon director din secolul al XVIII-lea a fost conservarea energiei mecanice în procesul de transformare a energiei potenţiale deja existente (de pildă, a apei care umple cupele unei roţi hidraulice) sau a energiei cinetice existente (curentul de apă care împinge paletele unei roţi) în rotaţia mecanică a acelui tip de maşini ai căror strămoşi au fost maşinile de tors şi de ţesut, prevestitoare ale revoluţiei industriale. În secolul al XIX-lea (mai precis în perioada care cuprinde sfîrşitul secolului al XVII-lea şi aprcape tot secolul al XIX-lea), un asemenea canon director al energeticii a fost conservarea energiei în procesul transformării căldurii în lucru mecanic. Apropierea de canonul director se manifesta în creşterea randamentului instalaţiilor termice. Începînd cu secolul al XIX-lea, ştiinţa, descoperind transformarea lucrului mecanic în electricitate şi al electricităţii în lucru mecanic (ceea ce este legat de concluziile ecuaţiilor fundamentale ale electrodinamicii clasice, ecuaţiile lui Maxwell) stabileşte pentru progresul tehnic un nou canon director, iar energetica aspiră să întruchipeze în viaţă următoarea schemă : mişcarea unui conductor de electricitate în cîmpul magnetic provoacă un curent electric, iar acesta din urmă pune în mişcare, la o distanţă considerabilă, un conductor într-un cîmp magnetic. Materializarea acestei scheme sub forma unui sistem unitar şi centralizat de aprovizionare cu energie electrică constituie obiectivul principal al electrificării.

Mai jos ne vom opri mai amănunţit asupra electrificării ca materializare a electrodinamicii clasice. Dar mai înainte trebuie să facem o remarcă privind materializarea întregii fizici clasice în întreaga evoluţie a energeticii pînă la mijlocul secolului nostru.

Ştiinţa clasică operează cu porţiuni discrete ale substanţei : corpuri macroscopice, molecule şi atomi. Energia tuturor acestor corpuri în mişcare îşi datorează existenţa — dacă ne referim la corpuri aflate pe Pămînt — radiaţiei solare. Soarele este cel ce creează

toate sursele clasice de energie folosite în producţie. Razele Soarelui determină evaporarea apei, tot ele creează variaţiile în presiunea atmosferică şi vînturile, ele schimbă structura moleculelor substanţei organice în procesul de asimilaţie clorofiliană făcînd să se acumuleze rezerve de energie sub formă de combustibil. Prin urmare energetica clasică nu depăşeşte limitele proceselor care au loc într-un sistem solar imuabil. Anticipînd, vom menţiona că energetica modernă — materializarea ştiinţei neclasice — se sprijină pe procese care explică apariţia nucleelor atomice, pe procese care au loc în cursul naşterii şi pieirii lumilor.

Bineînţeles, şi energetica clasică se sprijină pe procese care astăzi au căpătat o explicaţie neclasică. Aşa sînt procesele care produc radiaţiile solare, captarea energiei solare în clorofilă şi chiar apariţia şi propagarea curentului în conductorii de electricitate. Dar cuvîntul „se sprijină" are aici un alt sens. Energetica clasică s-a putut dezvolta fără descoperirea naturii neclasice a acestor procese. Energetica modernă, dimpotrivă, este legată într-o măsură esenţială tocmai de această descoperire.

Să revenim la electrificare. Esenţa ei constă în faptul că sursele clasice de energie sînt utilizate în sisteme conectate, alcătuite din puncte generatoare şi consumatori de energie electrică. Ceea ce le uneşte sînt liniile de transmisie de înaltă tensiune. Dar aceasta nu este decît prima verigă a electrificării. Ea s-a repercutat în tehnologie, în baza de materii prime a producţiei, în caracterul muncii, în cultură şi ştiinţă.

Rezonanţa în tehnologie a unificării energeticii a constat în folosirea pe scară largă în industrie a electrolizei. Procesele şi metodele tehnologice care necesită mari consumuri specifice de energie electrică deveneau economice pe măsură ce electrificarea valorifica concentrările de energie hidraulică şi sursele locale de combustibil ieftin. A devenit posibilă o producţie de îngrăşăminte azotoase de proporţii incomparabile cu cea din trecut, ceea ce a modificat imediat productivitatea agriculturii. În continuare, electrificarea a deschis calea unor metode bazate pe consumuri mari de electricitate

cu ajutorul cărora se produc metale ușoare și oțeluri speciale. S-a schimbat scheletul metalic al producției. În mod corespunzător s-a modificat baza de materii prime. A apărut nevoia de metale rare și de alte elemente care, deși cunoscute în chimie, nu erau de loc folosite în tehnică. Zeci de elemente din sistemul periodic al lui Mendeleev au devenit materie primă industrială.

Electrificarea a modificat caracterul muncii. Supletea transmisiei electrice a permis înlocuirea muncitorului prin mașină în operații mai complexe. Motoare electrice, în unele cazuri deosebit de puternice, în altele de proporții foarte mici, au pus în mișcare numeroase mecanisme, care prelucrează piese de mașini, le transportă, le transmit de la o instalație automată la alta. Au apărut servomotoare, motoare care nu prelucrează obiectul muncii, ci dirijează alte motoare, le schimbă regimul, modifică înclinația cuțitelor, direcția transportorului automat etc. Pentru producția electrificată este caracteristic pupitrul de comandă al liniilor automate, cu indicatoare pentru viteză, tensiune, temperaturi, pentru intrarea de materii prime și pentru ieșirea produsului finit, cu butoane și manete care permit dirijarea unui agregat complex sau a unui sistem de agregate.

Rezultatul economic general al electrificării a constat în următoarele.

Pătrunderea electricității în tehnică, trecerea la noi tipuri de materie primă și la automatizarea producției au devenit procese practic continue. Nu trece o săptămînă fără ca într-un laborator oarecare, într-un birou de proiectare sau într-o hală de uzină să apară o nouă construcție, o nouă rețetă tehnologică, noi operații, noi parametri. La rîndul său, progresul tehnic a căpătat un caracter continuu ; totodată și productivitatea muncii sociale a început să crească practic în mod continuu.

După cum se știe, schimbările continue ale mărimilor pot fi reprezentate (lăsînd la o parte unele subtilități matematice) sub forma unor derivate în raport cu timpul. Prima derivată a poziției punctului în raport cu timpul este viteza ei, a doua derivată este accele-

rația. Putem formula rezultatul economic al electrificării spunînd că în procesul electrificării prima derivată a productivității muncii în raport cu timpul devine pozitivă, mai mare ca zero, ceea ce înseamnă că productivitatea muncii crește continuu, posedă o viteză.

În 1920 a fost întocmit planul de electrificare a Rusiei Sovietice. El includea un program de primă urgență al construirii de uzine electrice și un program cu caracter de perspectivă al conectării într-un sistem unic a centralelor în partea europeană a țării, concomitent cu creșterea puterii lor. Planul indica direcțiile și proporțiile electrificării industriei, ale folosirii electricității pentru mecanizarea producției și pentru noi procese tehnologice. El prevedea electrificarea transportului și a agriculturii și stabilea perspectivele dezvoltării unor ramuri ale producției, o dată cu reconstruirea acesteia pe baza electricității. Toate acestea laolaltă au determinat un complex de prefaceri în producție, strîns legate între ele și prevăzute cam pentru aceeași perioadă : crearea unei rețele de înaltă tensiune care să unifice marile centrale, mecanizarea producției, modificarea caracterului muncii, dezvoltarea ramurilor consumatoare de energie electrică, schimbări în resursele de materii prime.

Acum ne va fi mai ușor să înțelegem în ce constă efectul fizicii neclasice.

Un prim rezultat al ei este o nouă bază energetică a producției. În cazul de față, cuvîntul *nou* înseamnă *modern,* în cel mai radical sens al cuvîntului. Este vorba de materializarea unui principiu fizic cu caracter cît se poate de general. Pentru revoluția tehnică provocată de instalațiile mecanice din secolul al XVIII-lea principiul fizic suprem fusese legea forțelor formulată de Newton : accelerația unui corp este proporțională cu forța care acționează asupra lui, coeficientul constant de proporționalitate fiind egal cu masa corpului. La baza revoluției produse de mașinile termice din secolele XVIII—XIX se aflau ca principii universale principiile termodinamicii. Pentru revoluția generată de electricitate, un asemenea principiu îl constituie legile electrodinamicii, ecuațiile lui Maxwell, care leagă cîmpul mag-

netic de cîmpul electric şi a căror materializare o constituie transformatorul, generatorul şi motorul electric. Pentru enegia atomică, un asemenea principiu cu caracter universal, care determină idealurile şi direcţiile cercetărilor şi aplicaţiile ulterioare ale rezultatelor acestora, îl constituie relaţia relativistă dintre masa nucleului şi energia de legătură a particulelor nucleare. Bineînţeles, fiecare din aceste formule nu contravine celorlalte : cînd într-un reactor atomic modern (care utilizează o parte mică, dar totuşi substanţială, din energia calculată pe baza formulei lui Einstein) se degajează căldură, calculul ulterior al utilizării acestei călduri se bazează pe termodinamica clasică şi electrodinamica clasică, iar calculul proceselor mecanice care au loc în reactorul atomic se bazează pe mecanica clasică. Astăzi însă, pentru a aprecia evoluţia energeticii nu mai măsurăm dinamica folosirii progresive a capacităţii calorifice a combustibilului care arde (în sensul clasic, adică prin combinare cu oxigen) şi nu mai pornim de la energia pe care Soarele a înmagazinat-o în molecula substanţei organice. În prezent, luăm drept criteriu gradul de utilizare a energiei interne a nucleului. Este vorba de energia care a fost înmagazinată în el atunci cînd nucleul a luat naştere ca urmare a unor procese desfăşurate în domenii spaţio-temporale foarte mici, dar legate de evoluţia cosmică a stelelor şi poate şi a galaxiilor.

Perioada progresului ştiinţifico-tehnic legată de energetica atomică nu se va încheia în nici un caz prin utilizarea completă a energiei relativiste ($E=mc^2$), după cum încheierea revoluţiei provocată de abur nu a însemnat folosirea totală a capacităţii calorice a cărbunelui. Revoluţia produsă de abur s-a încheiat atunci cînd cărbunele a devenit componenta principală a balanţei energetice, cînd producţia a suferit un proces esenţial de migrare, părăsind apele curgătoare şi roţile hidraulice construite pe malurile lor şi mutîndu-se spre bazinele carbonifere, cînd au apărut mijloace de transport propulsate de forţa aburului şi cînd au luat naştere centrele industriale clasice. În mod analog, revoluţia săvîrşită de electricitate nu a fost încununată de valo-

rificarea deplină a resurselor clasice de energie ; încheierea ei (bineînțeles, relativă, cu păstrarea perspectivei de dezvoltare în continuare a centralelor, rețelelor, a aparaturii electrice industriale și a metodelor de aplicare tehnologică a electricității) a însemnat crearea unor mari sisteme interregionale, automatizarea pe scară largă, electrificarea tehnicii și, ca urmare, acea continuitate a progresului tehnic care ne permite să vorbim despre o derivată pozitivă în raport cu timpul a nivelului tehnicii și a nivelului productivității muncii.

În cazul revoluției determinate de folosirea nucleului atomic (ca să continuăm analogia cu electrificarea ca materializare a fizicii clasice) putem considera complexul de mutații conexe intervenite în tehnologie, în caracterul muncii, în caracterul bazei de materii prime, în cultură și în știință drept conținutul unei perioade speciale ; încheierea acestui proces o va constitui transformarea centralelor atomice în sursa precumpănitoare a producției de electricitate, automatizarea pe baza mașinilor de calcul și ordinatoarelor și eliberarea producției de pericolul secătuirii resurselor.

Toate aceste rezultate ale energeticii atomice (am putea să le numim și pe ele *rezonanțe*, întrucît energetica atomică nu face decît să accentueze tendințele interioare ale electronicii și ciberneticii) duc la accelerarea continuă a progresului tehnic. Dezvoltarea energeticii atomice nu se mai prezintă ca o succesiune de construcții care se apropie tot mai mult de o schemă fizică ideală. Adesea ea include modificarea schemei însăși. Mai jos vom reveni la această particularitate a energeticii atomice. În mod analog, procesele de „rezonanță“ ale introducerii electronicii în tehnică și ale aplicării ciberneticii modifică adesea în întreaga producție schemele de principiu și nu numai aspectul tehnic concret al schemei. Anticipînd, și fără să recurgem deocamdată la exemple și argumentări, vom defini caracteristica economică principală a erei atomice precum urmează : nivelul tehnicii și nivelul productivității muncii nu numai că cresc, dar cresc cu o accelerație continuă ; cresc viteza progresului tehnic și viteza sporirii productivității muncii. Așadar, nu numai prima derivată

în raport cu timpul a productivităţii muncii este pozitivă, ci şi derivata a doua.

Tocmai la acest rezultat economic principal duc transformarea energeticii atomice în componenta principală a balanţei energetice, transformarea electronicii în instrumentul de bază al tehnicii, transformarea muncii bazate pe mecanismele cibernetice în conţinutul principal al muncii.

Ce va urma ? Putem oare prevedea de pe acum contururile erei postatomice ?

Nu, nu putem încă. Putem totuşi indica, şi chiar cu o precizie destul de mare, procesul care pregăteşte de pe acum civilizaţia postatomică. Acestei probleme îi vom consacra un capitol special. Aici ne vom mărgini să subliniem că cunoaştem cu o mare precizie în ce constă procesul de pregătire a civilizaţiei postatomice, dar nu ştim cîtuşi de puţin care va fi rezultatul acestui proces, care vor fi ideile ştiinţifice din care va rezulta posibilitatea unei energetici noi, postatomice, a unei tehnici noi, a unui nou caracter al muncii.

Calea care duce spre noile idei ştiinţifice ale civilizaţiei postatomice este studiul particulelor elementare. E vorba deci nu numai de atomi şi de nucleele atomice, ci şi de acele particule care deocamdată nu au putut fi şi poate că nu vor putea fi divizate în subparticule. Dintre acestea fac parte particulele elementare cu sarcina electrică negativă, electronii ; apoi nucleonii, respectiv particulele din care sînt formate nucleele atomice : protonii, care au sarcina electrică pozitivă, şi neutronii, care nu au sarcină electrică, precum şi multe alte particule. Dificultatea constă în faptul că nu prea putem spune prin ce se deosebesc particulele elementare de cele neelementare şi nu putem spune de loc de ce depind masele şi sarcinile care deosebesc un tip de particule elementare de un alt tip.

Avem toate motivele să considerăm că rezolvarea acestor probleme este posibilă numai în cazul renunţării radicale la reprezentările cu care sîntem obişnuiţi, o renunţare poate mai radicală decît renunţarea la axiomele clasice ale fizicii pe care a implicat-o crearea teoriei relativităţii şi a mecanicii cuantice.

Nu este exclus că peste un deceniu sau două (în orice caz e vorba de o perioadă de acest ordin) se va produce modificarea rapidă a celor mai fundamentale principii ale științei. Atunci se vor schimba cu repeziciune nu numai schemele științifice concrete, ceea ce are loc și în zilele noastre, ci chiar și idealurile științei, acele idealuri spre care năzuiesc savanții cînd elaborează noi scheme științifice. Atunci va deveni poate continuă nu numai accelerația progresului tehnic, ci chiar și creșterea accelerației, cu alte cuvinte va deveni pozitivă derivata a treia în raport cu timpul a nivelului tehnicii, a nivelului dominației omului asupra naturii.

Dar deocamdată această a treia derivată nu este o mărime măsurabilă. Ea este doar un *simbol* al efectului economic posibil al acelor cercetări fundamentale care extind cunoștințele noastre despre particulele elementare. Aceste cercetări ne permit să pătrundem în domenii spațiale foarte mici (de ordinul razei nucleului atomic, respectiv 10^{-13} cm), precum și în intervale de timp de ordinul a 10^{-23} s). În aceste domenii și intervale putem pătrunde cu ajutorul unor acceleratori de foarte mare putere ai particulelor elementare. O altă cale o reprezintă cercetările astrofizice, în special studiul razelor cosmice, care sînt niște fluxuri de particule de energii foarte înalte care vin pe Pămînt din spațiul cosmic.

Aceste cercetări au un caracter „dezinteresat". Ghilimelele nu înseamnă că punem la îndoială caracterul cu adevărat dezinteresat al acelei aspirații spre rezolvarea unor probleme pur cognitive care îl călăuzește pe om în investigarea cosmosului și a microuniversului. Oricare ar fi rezultatele practice posibile ale cercetărilor astrofizice sau ale construirii unor acceleratori deosebit de puternici, nu aceste rezultate, care în principiu nu pot fi dinainte determinate, constituie stimulentul direct al cercetărilor menționate. Urmărindu-se inițial rezultate *pur cognitive,* ele au fost transformate ulterior în activități de mare importanță economică. Astăzi oamenii știu bine că, de fapt, caracterul abstract al problemelor cognitive și incertitudinea totală în ce privește rezultatele practice ale soluționării lor corespund

tocmai caracterului radical al acestor rezultate nedeterminabile dinainte şi, în ultimă instanţă, unei accelerări radicale a progresului economic. Ei înţeleg că teoria relativităţii a putut să devină sursa unor asemenea rezultate practice radicale cum este energetica atomică tocmai datorită caracterului general, abstract şi pur cognitiv al problemelor formulate la începutul secolului cu privire la spaţiu, timp, mişcare, eter, masă şi energie. Astăzi în faţa ştiinţei se ridică probleme cu caracter şi mai general, şi mai fundamental. Ele vor fi soluţionate indiferent de gradul de determinare a rezultatelor lor practice. Şi totuşi ghilimelele în care am inclus cuvîntul „dezinteresate" au o anumită semnificaţie : „interesul" pe care-l prezintă cercetările este nedeterminabil sub raport cantitativ, necunoscut dinainte, dar utilitatea lor este absolut incontestabilă şi excepţional de mare.

Este oare acest interes o noţiune economică ? Se poate vorbi despre efectul economic al cercetărilor fundamentale în domeniul teoriei particulelor elementare ?

Se pare că a sosit momentul să extindem noţiunea de „efect economic", să includem în ea nu numai productivitatea muncii sociale, ci şi viteza de creştere a acestui indicator, apoi acceleraţia lui şi poate şi viteza acceleraţiei. E vorba, după cum s-a mai arătat, de derivate ale productivităţii muncii în raport cu timpul : derivata întîi (viteza creşterii), derivata a doua (acceleraţia) şi derivata a treia (viteza acceleraţiei).

Luarea în considerare a derivatelor în raport cu timpul, inclusiv a derivatei a treia, ne permite să privim cercetările fundamentale, „dezinteresate" (care dau răspunsuri la întrebările cu privire la spaţiu şi timp, la caracterul lor finit sau infinit, la continuitatea sau discontinuitatea lor, la caracterul „elementar" al particulelor elementare, la natura masei şi sarcinii lor etc.), ca verigi ale activităţii economice ale omului, ca un factor care face să crească dominaţia omului asupra naturii şi, o dată cu aceasta, suma valorilor materiale, intelectuale şi estetice consumate de om.

Numai cercetările cele mai simple — măsurătorile de control privitoare la calitatea materiei prime şi a

producţiei, la viteza maşinilor, la presiunea vaporilor, la tensiunea electrică etc. — asigură nemijlocit un nivel dat al productivităţii muncii. Lucrările de proiectare şi elaborare a tehnologiei fac să crească productivitatea muncii, îi imprimă o anumită viteză de creştere diferită de zero. Cercetările ştiinţifice propriu-zise asigură accelerarea, iar cele mai fundamentale dintre ele promit creşterea acceleraţiei productivităţii muncii sociale. Nimic nu poate da însă un impuls atît de puternic ritmului de accelerare a productivităţii muncii sociale, precum şi întregii civilizaţii în ansamblu, ca cercetările „dezinteresate", cu adevărat dezinteresate dacă avem în vedere nivelul productivităţii muncii, dar prezentînd totodată un interes obiectiv major dacă avem în vedere creşterea acceleraţiei acestui indicator universal al civilizaţiei.

Există o legătură destul de bine conturată între gradul de generalitate, de profunzime şi de „dezinteresare" a cercetărilor ştiinţifice şi caracterul nedeterminat al efectului lor economic. Dacă comparăm între ele măsurătorile de control, elaborarea proiectelor şi a tehnologiei, cercetările ştiinţifice propriu-zise care urmează făgaşe de principiu deja trasate şi, în sfîrşit, cercetările fundamentale, vedem că ele asigură respectiv un efect din ce în ce mai intens, dar totodată mai nedeterminat şi mai neaşteptat.

Putem enunţa ca o lege destul de precisă şi universală următoarea corelaţie : *cu cît este mai mare ordinul derivatei a cărei mărime este influenţată de rezultatul cercetării, cu atît efectul economic al acestui rezultat este mai nedeterminat, dar în acelaşi timp mai profund.*

Aşa stînd lucrurile, teoria economică trebuie să includă nedeterminarea ca o noţiune fundamentală. Economia teoretică a devenit o ştiinţă atît de exactă încît trebuie să împărtăşească destinul general al ştiinţelor exacte şi să opereze cu noţiunea fundamentală de nedeterminare.

Nedeterminarea efectului cercetărilor fundamentale este o nedeterminare de alt tip decît cea a efectului cercetărilor ştiinţifice cu rezultate previzibile (fie chiar şi neunivoc previzibile) şi decît nedeterminarea efec-

tului investigațiilor în domeniul proiectării și al tehnologiei. Ea limitează acele prognoze care pretind la un anumit grad de determinare, fie el oricît de mic. O asemenea prognoză nu poate depăși cadrul complexului de schimbări în energetică, tehnologie, caracterul muncii și baza de materii prime care asigură accelerarea nivelului de productivitate a muncii și corespund noțiunii de „eră atomică". Cercetările fundamentale sînt un memento mori *sui generis,* ele sugerează caracterul limitat al unui asemenea complex de timp.

Toate cele expuse mai sus constituie un răspuns la întrebarea : „De ce anul 2000 ?" Ne gîndim la posibilitatea desfășurării progresului tehnic în condiții cu totul noi, postatomice — condiții ce vor apărea ca urmare a unui întreg complex de schimbări energetice și tehnologice legate între ele, care vor dura cîteva decenii, acoperind aproximativ perioada limitată de anul 2000. Se pune însă și o altă întrebare : „De ce tocmai sfîrșitul deceniului al șaptelea să fie momentul în care se pot emite prognoze pentru anul 2000 ? De ce sfîrșitul deceniului al șaptelea ne permite să dăm la o parte perdeaua care ascunde viitorul ?"

În primul rînd tocmai pentru că în acești ani centralele atomoelectrice au dovedit capacitatea lor de a face concurență centralelor termoelectrice care funcționează pe bază de cărbune. În capitolul rezervat energeticii atomice cităm cifre comparative cu privire la costul pe kilowatt-oră la centralele atomice și la cele pe bază de cărbune. Faptul că aceste cifre s-au apropiat creează posibilitatea unei treceri — fără îndoială, destul de îndelungate — care se va întinde pe o perioadă de cîteva decenii — la o balanță electroenergetică în care vor precumpăni centralele atomoelectrice. Se înțelege că viteza acestei tranziții depinde în mod esențial de evoluția de la nivelul actual, sensibil egal, al acestor cifre comparative spre un decalaj în favoarea centralelor atomice. Astăzi însă, la sfîrșitul deceniului al șaptelea, trecem prin punctul de intersecție al curbelor care reprezintă costul pe kilowatt-oră. O serie de considerente ne îngăduie să prevedem că la centralele

atomice costul pe kilowatt-oră va scădea mai rapid decît la centralele termoelectrice, ceea ce echivalează cu prevederea unei creşteri treptate a decalajului în favoarea centralelor atomice. În orice caz, astăzi prognozele privind energetica atomică pornesc de la posibilitatea deja demonstrată a trecerii rentabile la o nouă structură a balanţei energetice. Ne putem chiar aştepta la o accelerare a trecerii, legată de faptul că la sfîrşitul deceniului al şaptelea a fost rezolvată sub raport fizic şi tehnic problema reactoarelor care produc mai mult combustibil nuclear decît consumă.

Pentru sfîrşitul deceniului al şaptelea este caracteristic, de asemenea faptul că noua tehnologie bazată pe electronică a ajuns să pătrundă în procesele de producţie fundamentale. Tot în această perioadă, cibernetica, după o serie de succese deosebit de importante în perspectivă în domeniul telecomunicaţiilor, al prelucrării şi păstrării informaţiei şi al comenzii, s-a apropiat de problemele de producţie propriu-zise în ramurile principale ale producţiei. Aceste trei tendinţe fundamentale, reprezentate de energetica atomică, de electronică şi de cibernetică, au atins astăzi, la sfîrşitul deceniului al şaptelea, majoratul lor economic. Tocmai ele reprezintă baza tehnico-ştiinţifică a noii prognoze care caracterizează ştiinţa neclasică. Realizarea unei asemenea prognoze reclamă creşterea a ceea ce s-ar putea numi potenţialul intelectual al ştiinţei. Acesta depinde de amploarea şi de gradul de generalitate a acelor probleme fundamentale în al căror proces de soluţionare ştiinţa descoperă noi legături între diferitele domenii ale cunoaşterii, transferînd procedeele experimentale şi matematice dintr-o ramură în alta şi lărgind arsenalul acestor procedee.

Psihologiei sociale a epocii noastre îi este caracteristică gîndirea prospectivă. Noi nu putem înţelege *ce anume* reprezintă valorile materiale şi spirituale din ziua de azi fără să pricepem *încotro* duc ele şi ce porţi deschid. Ştiinţa a adus omenirea la o răspîntie unde se pot vedea inscripţiile : „la dreapta spre..." şi „la stînga spre...". Una dintre cele două căi poartă în sine primejdia războiului atomic şi a distrugerii civilizaţiei. Această

parte a inscripţiei îşi găseşte dezvoltarea în numeroase documente, cercetări şi romane (de felul celui publicat în 1957 de Shewit cu titlul *Pe mal,* în care se vorbeşte despre pieirea omenirii ca urmare a unui război atomic, prezis pentru anii 1962—1963 ; faptul că am depăşit această dată nu linişteşte şi nu trebuie să liniştească pe nimeni). Cealaltă parte a inscripţiei anunţă un avînt fără precedent al ştiinţei, culturii şi prosperităţii oamenilor, accelerarea progresului, lichidarea bolilor, creşterea nivelului intelectual şi moral. Prezenta lucrare reprezintă o încercare de a expune unele prognoze conţinute în partea optimistă a inscripţiei şi legată direct sau indirect de teoriile relativiste şi cuantice moderne.

2
Secolul lui Einstein

Cele mai multe din prognozele care se fac astăzi se referă la acea epocă a progresului tehnico-științific pe care o numim secolul atomic. După cum s-a mai spus, esența lui nu se reduce la transformarea centralelor atomice în elementul de bază al balanței energetice. Noțiunea de secol atomic include efectele de rezonanță legate direct sau indirect de energetica atomică. Dar chiar și o asemenea extindere a noțiunii nu acoperă o serie de particularități esențiale ale științei de la sfîrșitul secolului al XX-lea. Caracteristica „atomic" dată secolului nostru indică amploarea cantitativă a energeticii atomice, nivelul automatizării, gradul de folosire a electronicii (la care vom reveni mai detaliat în capitolele următoare), dar ea nu definește noua dinamică a producției și a culturii proprie secolelor XX—XXI. Or, tocmai în aceasta rezidă secretul noii revoluții științifico-tehnice. Și perioada anterioară s-a distins prin dinamism. Încă din secolul al XVIII-lea se schimbă structura, amplasarea teritorială, baza energetică, nivelul de mecanizare și tehnologia producției. Dar după cum s-a mai spus în capitolul precedent, pentru revoluția științ-

ţifico-tehnică din secolul nostru este caracteristic un dinamism diferit, superior : astăzi se schimbă neîncetat nu numai schemele întreprinderilor şi reţetele tehnologice, ci şi ciclurile ideale, modelele ideale ale progresului tehnic.

Ce se află la baza acestei schimbări ? De ce în secolul nostru a intervenit o modificare atît de rapidă a acestor modele ideale, a reprezentărilor despre procesele fizice, despre propagarea cîmpurilor, despre mişcarea şi transformarea particulelor şi despre transformările energiei ?

Forţa motrice directă a acestei componente ştiinţifice a noii revoluţii a fost trecerea la un nou ideal fizic. În locul idealului static al ştiinţei clasice, a apărut în faţa cercetătorului un ideal diferit, prin excelenţă neclasic. El nu mai poate fi exprimat sub forma unei explicări exhaustive a lumii, care ar rezerva viitorului doar detalii ale unei scheme definitiv stabilite a edificiului cosmic. Astăzi, „ideale" sînt teoriile fizice care se apropie în cea mai mare măsură de înţelegerea armoniei obiective a universului şi care corespund în cel mai înalt grad întregului ansamblu al datelor experimentale. Noul criteriu, dinamic, corespunde noului crez gnoseologic al ştiinţei. Ideea enunţată încă în vremurile antice potrivit căreia adevărul este „copilul timpului", ideea apropierii continue şi nesfîrşite de adevăr, care a evoluat apoi de-a lungul secolelor, s-a întruchipat astăzi în criteriile nemijlocite de alegere a teoriilor ştiinţifice.

Noile criterii ale teoriei ştiinţifice, idealurile noi, dinamice ale creaţiei ştiinţifice constituie unul dintre rezultatele cele mai importante ale ştiinţei secolului al XX-lea. Ca să putem vorbi de ştiinţa anului 2000 trebuie să înţelegem în primul rînd care sînt aceste rezultate, cu ce a contribuit ştiinţa secolului nostru la evoluţia forţelor motrice ale progresului, la dinamica lui. „Ştiinţa în anul 2000" este un pseudonim convenţional pe care îl atribuim sensului fundamental al dezvoltării ştiinţei în secolul al XX-lea, adică răspunsului

la întrebarea : cu ce caracteristică va intra secolul al XX-lea în istoria științei și culturii ?

Secolul al XVIII-lea a fost declarat „secolul rațiunii" ; secolul al XIX-lea — „secolul științei". Să ne oprim asupra sensului acestor caracterizări, care ne vor ajuta să răspundem la întrebarea : ce caracterizare se potrivește științei din secolul al XX-lea ?

Rațiunea și-a proclamat suveranitatea încă în epoca Renașterii, iar în secolul al XVII-lea ea a început să revendice hegemonia. Dar secolul al XVII-lea reprezintă doar zorile raționalismului, o auroră cu culori palide, schimbătoare. În secolul următor, secolul al XVIII-lea, a fost făurită o schemă raționalistă a edificiului cosmic în conformitate cu datele experienței. O asemenea schemă a fost oferită de mecanica lui Newton. Ea a exercitat o influență deosebit de mare asupra tuturor aspectelor vieții societății europene. Engels vorbea despre liniile care leagă știința secolului al XVIII-lea pe de o parte de Renașterea franceză și de marea revoluție franceză, iar pe de altă parte de marea revoluție industrială din Anglia. Cultura secolului al XVIII-lea era pătrunsă de un riguros spirit raționalist, exprimat în modul cel mai pregnant. Idealul științei consta în a reduce întregul tablou multicolor al lumii la un desen în alb-negru, la schema mișcărilor corpurilor conform mecanicii lui Newton. Acest ideal static de explicare științifică reprezenta o limită a cunoașterii științifice.

În mod corespunzător, și idealurile sociale aveau în secolul al XVIII-lea un caracter static. Bazîndu-se pe sistemul lui Newton și transformîndu-l pe gînditorul englez într-un demiurg al universului, Charles Fourier a imaginat o societate ideală în care gîndirea abstractă determină nu numai organizarea rațională a falansterelor, ci și o natură ordonată, cu „antilei" și „antirechini" bine intenționați și cu o durată fixă a vieții omului (144 de ani). Cu tot aspectul lor fantastic, plăsmuirile lui Fourier reflectau stilul gîndirii științifice a secolului al XVIII-lea și nu este întîmplător faptul că marele utopist a fost supranumit un „Newton social".

Un caracter static aveau și criteriile creației tehnice. Cel puțin în prima ei fază revoluția industrială

a constat în construirea de mașini care să se deosebească cît mai puțin de schemele mecanice ideale. După cum s-a mai spus, creația tehnică pornea de la o schemă fizică ideală, care reprezenta limita perfecționărilor tehnice.

Așa se prezenta secolul rațiunii, care, bineînțeles, se încadra numai cu o aproximație destul de mică în limitele cronologice ale secolului al XVIII-lea. De altfel, caracterul convențional al limitelor cronologice ale secolelor (ca și al datei alese de noi : anul 2000) devine evident atunci cînd se dau secolelor caracterizări globale. Cu această rezervă, secolul al XIX-lea poate fi denumit un secol al științei experimentale, căci dezvoltarea științei nu se mai limita la umplerea unor forme apriorice neschimbate cu date empirice noi. Confruntată cu experiența, rațiunea se vedea nevoită să treacă la forme logice și matematice tot mai noi, nicidecum apriorice. „Rațiunea — scria Laplace — se lovește de greutăți mai mari atunci cînd se adîncește în sine însăși decît atunci cînd merge înainte". La începutul secolului, adîncirea în sine însăși a rațiunii (cu alte cuvinte elaborarea de noi forme logice și matematice) era o sarcină mai dificilă decît simpla înaintare a rațiunii, adică umplerea formelor deja constituite cu un conținut empiric nou. Dar această dificultate era inevitabilă. În secolul al XIX-lea, știința descoperea mereu legi noi, ceea ce sugera, prin asociație, replica personajului shakespearian : „Sînt multe lucruri în lume, prietene Horatio, la care înțelepții noștri nici nu visează". Trecerea ireversibilă la stări cu o entropie tot mai mare — nebănuită înainte de înțelepți și descoperită de Carnot — sau cîmpul electromagnetic, un nou tip de realitate fizică nevisat nici el de înțelepții lumii, precum și alte fapte asemănătoare neprevăzute în schemele apriorice, zdruncinau treptat ideea unui obiectiv definitiv al științei, ideea reducerii tuturor legilor particulare la o schemă unică.

Îndoielile nu subminau însă decît ideea reducerii a tot ce se petrece în lume la mecanică ; aproape nimeni nu se îndoia că mecanica însăși poate fi concepută numai ca o mecanică newtoniană. Cu atît mai puțin era

pusă sub semnul întrebării valoarea absolută a geometriei lui Euclid. Şi totuşi în natură nu existau echivalente absolut riguroase ale acesteia. Suprafaţa plană a unui corp nu putea fi considerată drept prototip al planului geometric, deoarece, după cum a reieşit, ea este alcătuită din molecule discrete. Raza de lumină nu poate fi luată drept prototip al liniei drepte, deoarece ea reprezintă mişcarea unei unde. Eliberată de aceste echivalente fizice directe, geometria putea să creeze fără dificultate construcţii dintre cele mai neaşteptate, „adînciri ale raţiunii în sine însăşi", care se rupeau de „mişcarea ei înainte". Au apărut geometrii multidimensionale, spaţii abstracte cu *n* dimensiuni, în care poziţia punctului nu mai este determinată de trei coordonate, ci de patru sau mai multe. A apărut geometria lui Lobacevski, cu triunghiuri în care suma unghiurilor era mai mică decît două unghiuri drepte şi geometria lui Riemann, în care suma unghiurilor unui triunghi era mai mare decît două unghiuri drepte. Aceste realizări reprezentau elanuri ale raţiunii, care, eliberată de echivalenţele fizice, construia noi şi noi forme logico-matematice paradoxale. Rămînînd uimită în faţa constatării că ele erau lipsite de contradicţii interioare şi ireproşabile din punct de vedere logic, ea nu concepea totuşi aceste forme paradoxale ca pe nişte forme ale unei *existenţe paradoxale.*

Am mai menţionat aici teoria relativităţii. Ea a modificat corelaţia dintre raţiunea „care se adînceşte în sine însăşi" şi raţiunea „care merge înainte". Folosită de teoria restrînsă a relativităţii, geometria cvadridimensională şi-a găsit echivalenţii fizici în teoria relativităţii generalizate. În felul acesta a apărut nu numai noţiunea de părere, concepţie, teorie paradoxală, ci şi noţiunea de existenţă paradoxală. Ea s-a dovedit a fi una din cele mai mari forţe revoluţionare, imprimînd ştiinţei şi tehnicii din secolul al XX-lea un dinamism de nivel superior.

Caracterul paradoxal al existenţei constă în apariţia unor principii ale ştiinţei şi a unor idealuri ale interpretării ştiinţifice netradiţionale şi incompatibile cu

tradiţia. Obiectivele creaţiei ştiinţifice se schimbă, ele devin mobile, iar progresul ştiinţific capătă o acceleraţie. Ne vom opri acum asupra acelei sinteze a transformării aparatului logico-matematic al ştiinţei şi al experienţei caracteristică secolului al XX-lea şi care conferă ştiinţei acest dinamism superior.

Elaborînd teoria relativităţii, Einstein a folosit două criterii de alegere a unei teorii fizice. Ele au condus ştiinţa spre fuziunea „mişcării înainte a raţiunii“ cu „adîncirea raţiunii în sine însăşi“ la care s-a referit Laplace. Einstein i-a dat primului criteriu denumirea de „justificare exterioară“. El constă în concordanţa dintre teorie şi observaţiile empirice. Dacă teoria corespunde observaţiilor, inclusiv celor noi, neaşteptate, paradoxale, înseamnă că, îmbrăţişînd o asemenea teorie, raţiunea înaintează, cuprinzînd în interpretările ei fapte noi. Cel de-al doilea criteriu constă în „perfecţiunea interioară“ a teoriei : pe cît posibil, teoria nu trebuie să includă presupuneri formulate ad-hoc, adică afirmaţii special enunţate pentru explicarea unui fapt dat, ci trebuie să pornească de la postulate iniţiale cît mai generale. Marea importanţă pe care teoria relativităţii elaborată de Einstein o are pentru ştiinţă, pentru cultură şi pentru stilul de gîndire al oamenilor decurge din faptul că Einstein a explicat unele fapte paradoxale pornind de la principii generale care însemnau o transformare a raţiunii însăşi, trecerea la noi forme de cunoaştere a naturii, la noi idealuri ale ştiinţei.

Care au fost aceste fapte şi în ce consta interpretarea lor ?

Teoria relativităţii porneşte de la experienţa care a demonstrat că lumina se propagă cu aceeaşi viteză în sisteme care se mişcă unul în raport cu celălalt. Faţă de asemenea sisteme viteza luminii este una şi aceeaşi. O asemenea constanţă a vitezei luminii în toate aceste sisteme contravine mecanicii clasice şi, la prima vedere, contravine evidenţei. Ea se află în contradicţie cu regula clasică a adunării vitezelor. Dacă omul merge cu o viteză de 5 km pe oră prin culoarul unui vagon de tren care se deplasează cu o viteză de 70 km pe oră şi dacă omul se mişcă în acelaşi sens ca şi trenul, viteza

lui față de șine va fi de 70 + 5 = 75 km pe oră. S-a constatat însă că lumina se mișcă în tren cu o viteză neschimbată, de 300 000 km pe secundă, indiferent dacă se ia ca sistem de referință trenul, șinele sau chiar un tren care vine din partea opusă. Tocmai de la acest fapt paradoxal a pornit Einstein. El a descoperit îndărătul acestei constatări un principiu cît se poate de general : mișcarea constă în schimbarea distanțelor dintre un corp în mișcare și alte corpuri luate drept sisteme de referință. Tot atît de îndreptățiți sîntem să considerăm că aceste din urmă corpuri se mișcă în raport cu corpul pe care l-am considerat drept mobil și să-i atribuim acestuia starea de repaus. Corpurile se mișcă relativ, unul în raport cu celălalt, iar o mișcare absolută, adică neraportată la un alt corp, este o noțiune lipsită de semnificație fizică.

Un principiu asemănător era cunoscut în mecanică încă în secolul al XVII-lea : dacă un sistem se mișcă fără accelerație, rezultă că în interiorul lui nu se petrece nimic ce ar putea demonstra mișcarea lui. Încă Galilei descria o cabină de navă în interiorul căreia zboară fluturi, în care apa picură printr-o deschizătură îngustă și în care fumul se ridică în sus, arătînd că toate aceste procese se petrec în același fel într-o navă în repaus și în una care se află în mișcare. Dacă nu putem să constatăm mișcarea pe baza unor procese mecanice interne, rezultă că mișcarea constă numai în schimbarea distanțelor dintre corpuri și are un sens relativ.

În ceea ce privește însă procesele optice, în fizica clasică domina un alt punct de vedere. Se considera că întregul spațiu cosmic este plin de eter, prin care se propagă unde de natură electromagnetică, adică lumina. Mișcarea în raport cu eterul este o mișcare absolută, care poate fi pusă în evidență prin desfășurarea proceselor interne ce au loc într-un sistem în mișcare. Dacă în cabina navei la care se referea Galilei se află o lanternă în partea dinspre proră și un ecran în partea dinspre pupă, adică în partea din spate a navei care se mișcă, lumina ajunge mai repede de la lanternă la ecran atunci cînd nava se mișcă. În acest caz ecranul

și lumina se mișcă unul în întîmpinarea celuilalt. Or experiențele optice au demonstrat în mod indubitabil, încă la sfîrșitul secolului al XIX-lea, că lumina se propagă cu aceeași viteză într-un sistem imobil în raport cu eterul și într-un sistem în mișcare. Se impunea deci renunțarea la regula clasică a adunării vitezelor și recunoașterea faptului că nici optica nu salvează noțiunea de mișcare absolută, că nu există nici o modalitate de a constata mișcarea pe baza efectelor interioare dintr-un sistem în mișcare.

Lorentz a încercat să salveze punctul de vedere clasic presupunînd că toate corpurile care se mișcă în pensează schimbarea vitezei lumii în aceste corpuri. eter își modifică dimensiunile într-o măsură care con- În acest fel mișcarea absolută există, ea se manifestă în schimbarea vitezei luminii, dar aceste modificări nu pot fi constatate. Ipoteza lui Lorentz avea „justificarea exterioară“, ea corespundea observației, dar îi lipsea „perfecțiunea interioară“ : era o ipoteză artificială, construită ad-hoc, special pentru interpretarea rezultatelor unor experiențe optice.

Einstein a luat ca punct de plecare postulate cît se poate de generale. El a pus în evidență lipsa de conținut fizic al noțiunilor de timp absolut și de simultaneitate absolută.

În fizica clasică se consideră ca fiind ceva de la sine înțeles că fiecare moment este unic și identic pretutindeni în întregul univers. În asemenea momente simultane constă fluxul timpului absolut, același pentru întregul univers. Dar ce înseamnă de fapt identitatea *fizică* a două momente, simultaneitatea evenimentelor care s-au petrecut în aceste momente ? Einstein contestă vreo semnificație fizică a noțiunii de simultaneitate a evenimentelor în puncte îndepărtate ale spațiului atunci cînd nu există posibilitatea de a sincroniza evenimentele, de a demonstra că în punctele în care ele au loc ceasurile merg sincron. Newton putuse să vorbească despre o asemenea sincronizare. El admitea propagarea instantanee a forțelor, adică o propagare cu viteză infinită. Dacă Soarele atrage Pămîntul și acțiunea lor reciprocă se propagă instantaneu, se poate vorbi

despre simultaneitate : impulsul pleacă de la Soare și acționează asupra Pămîntului în același moment. O asemenea posibilitate de identificare a momentelor și de sincronizare a unor evenimente îndepărtate ar reprezenta-o un semnal luminos care s-ar propaga instantaneu. S-ar putea, de asemenea, sincroniza un ceasornic plasat într-un punct și un ceasornic plasat în alt punct, legîndu-le printr-un ax absolut rigid. Dar riguros vorbind, toate acestea sînt iluzii. În natură și cîmpurile de forță, și semnalele luminoase, și tensiunile existente în axe se transmit cu o viteză finită. Nu ne rămîne deci decît să identificăm momentele : 1) al pornirii semnalului dintr-un punct și 2) al sosirii lui într-un alt punct, scăzîndu-se timpul consumat pentru propagarea semnalului. Acest lucru poate fi ușor făcut dacă punctele considerate sînt imobile în raport cu eterul sau dacă viteza lor este raportată la eter. Experiența a arătat însă că repausul și mișcarea în raport cu eterul nu au sens. Iar dacă timpul de propagare a semnalului este măsurat în sisteme diferite care se mișcă unul în raport cu celălalt, obținem valori diferite pentru acest timp. Dacă pe puntea unei nave, în centrul ei, vom aprinde o lumină și vom lumina astfel un ecran situat la prora navei, va fi ușor să confruntăm ceasurile de la prora și de la centrul punții. Este suficient să ținem seama de corectarea rezultată din viteza luminii față de navă, să scădem din timpul la care ecranul a fost iluminat timpul în cursul căruia lumina s-a propagat de la sursă pînă la ecran. Acesta va fi timpul de apariție a luminii. Observînd însă lumina și un ecran iluminat de pe țărmul de-a lungul căruia se mișcă nava, drumul parcurs de lumină și timpul ei de propagare se vor dovedi mai mari : lucrurile se petrec ca și cum ecranul s-ar depărta de lumină. De aceea o asemenea sincronizare este posibilă numai dacă corpurile pe care sînt situate punctele îndepărtate și pe care se petrec evenimente sincronizabile sînt imobile unul față de celălalt sau sînt considerate în raport cu același sistem de referință. După cum a arătat însă Einstein, le putem considera tot atît de bine într-un alt sistem ; atunci ceea ce părea imobil va fi mobil, și invers ; sincronizarea va da și ea alte re-

zultate. Conform teoriei relativităţii, ceea ce apare drept simultan într-un sistem va fi nesimultan într-un alt sistem. Nu există o simultaneitate absolută, independentă de sistemul de referinţă.

Renunţarea la procesele instantanee ne face să abandonăm concepţia clasică despre raporturile dintre spaţiu şi timp. Dacă în natură poate exista un proces instantaneu, adică un proces care se petrece numai în spaţiu, într-un interval de timp egal cu zero, noţiunea de spaţiu tridimensional posedă o semnificaţie *fizică*. Dar în fizica relativistă, adică în cea care porneşte de la teoria relativităţii, o asemenea noţiune îşi pierde semnificaţia fizică. Tot ce se petrece în lume reprezintă mişcări cu o viteză finită, mişcări în spaţiu şi în timp. Spaţiul şi timpul luate separat nu au un echivalent fizic, un asemenea echivalent are numai spaţiul-timp cvadridimensional. Fiecare eveniment elementar — prezenţa unei particule într-un punct dat la un moment dat — se caracterizează prin patru coordonate ; trei coordonate spaţiale ale punctului şi o a patra coordonată, coordonata temporală, respectiv timpul evenimentului considerat.

Patru numere (trei coordonate spaţiale şi cea de-a patra, temporală) formează un *punct de univers*, ele determină localizarea spaţio-temporală a particulei. Succesiunea unor asemenea localizări sau mişcarea particulei este reprezentată printr-o *linie de univers* cvadridimensională, un ansamblu de puncte de univers. În felul acesta „adîncirea raţiunii în sine însăşi“, construirea de noi forme logico-matematice (în cazul de faţă construirea unei geometrii multidimensionale) a căpătat un sens fizic, a fuzionat cu interpretarea faptelor, cu „mişcarea raţiunii înainte“.

Einstein a arătat că viteza luminii este viteza-limită de care poate să se apropie şi cu care poate să coincidă viteza unei particule, a unei unde, a tot ce Einstein numea *semnal*. Prin asemenea semnale se realizează legătura cauzală în natură. Înlănţuirile de cauze şi efecte sînt procese care se desfăşoară în spaţiu-timp, ele posedă o viteză-limită egală cu viteza luminii. Aceste observaţii ne dau o idee despre *cauzalitatea relativistă*.

Aşadar, o particulă nu se poate mişca mai repede decît lumina. Dacă o particulă primeşte noi impulsuri de aceeaşi intensitate, efectul lor descreşte pe măsura apropierii vitezei particulei de viteza luminii. Această constatare poate fi enunţată şi cu alte cuvinte : pe măsură ce viteza particulei se apropie de viteza luminii şi pe măsură ce energia particulei creşte corespunzător, *masa* ei se măreşte şi tinde către infinit atunci cînd viteza tinde către viteza luminii. Masa corpului este proporţională cu energia lui. Einstein a extins această proporţionalitate şi asupra particulei în repaus. În cunoscuta ecuaţie care stabileşte legătura dintre energie şi masă este cuprinsă *civilizaţia relativistă* : energetica atomică şi rezonanţele ei energetice, tehnice, culturale, economice şi ştiinţifice.

Se pare însă că trebuie să cerem cititorului iertare. În loc să vorbim despre prognoze, am consacrat un mare spaţiu unei expuneri populare a teoriei relativităţii, teorie apărută la începutul secolului la al cărui sfîrşit se referă prognozele care ne interesează. Dar definiţia secolului al XX-lea în ansamblul lui este cu neputinţă fără cunoaşterea ideilor lui Einstein : ele rămîn principala bază a prognozelor ştiinţifice nu numai pentru sfîrşitul secolului al XX-lea, ci şi pentru secolul al XXI-lea. Or, dacă vorbim despre ideile lui Einstein, este indispensabil să ne familiarizăm cît de cît cu teoria relativităţii. Evident, dacă vrei să vezi un spectacol cu „Hamlet" nu trebuie să te miri cînd pe scenă apare prinţul Danemarcei.

Cele spuse cu privire la teoria relativităţii mai trebuie completate cu următoarea observaţie.

Nici o teorie fizică nu poate oferi o descriere exhaustivă a naturii şi în acest sens nu poate fi completă. Dar teoria relativităţii a fost una dintre primele teorii care cu bună ştiinţă şi-a subliniat caracterul imperfect, ba, mai mult, a indicat punctele în care trebuie căutate căile pentru o explicaţie mai profundă, mai completă (dar nici ea exhaustivă). Acesta este stilul fizicii moderne. Vorbind despre teoria relativităţii, Einstein spunea că ea conţine o lacună evidentă. Aceste cuvinte fac parte din scurta schiţă autobiografică scrisă de el în

1949, schiță care a devenit testamentul științific al lui Einstein. Cu acest prilej Einstein a definit noțiunea de sistem de referință : un corp care poate fi prelungit indefinit în toate sensurile și care constă într-o rețea de rigle, fiecare corp a cărui mișcare o studiem putînd veni în contact cu aceste rigle. Un asemenea contact definește poziția spațială a corpului. Sistemul de referință cvadridimensional, spațio-temporal, mai conține în afară de aceasta un ceasornic, care poate să constea într-un proces oarecare care se repetă periodic. Ceasul, necesar pentru numărarea unităților de timp, poate fi plasat la fiecare încrucișare a trei rigle și atunci se poate determina nu numai poziția spațială, ci și poziția în timp, se poate realiza o localizare cvadridimensională, spațio-temporală a corpului considerat.

Sistemul spațio-temporal indică valoarea diverselor intervale spațio-temporale, adică ale segmentelor de linii de univers, după cum corpurile care intră în alcătuirea universului se mișcă sau nu se mișcă. Structura universului se descompune în linii de univers ale particulelor care îl constituie. În acest univers, corpul de referință constituie însă un „stat în stat". În mod virtual el nu e format din particule ; prin interiorul corpului de referință, prin interiorul riglelor și al ceasurilor nu trec linii de univers ; în orice caz teoria relativității nu vorbește despre ele, ea închide ochii în fața structurii discrete a riglelor și a ceasornicelor. În schița sa autobiografică, Einstein scria că teoria relativității introduce două tipuri de obiecte fizice : 1) rigle și ceasuri și 2) toate celelalte. „Într-un anumit sens, faptul acesta nu este logic — spune Einstein —, la drept vorbind ar trebui să deducem teoria riglelor și a ceasurilor din rezolvarea ecuațiilor fundamentale, ținînd seama că aceste obiecte au o structură atomică și se mișcă, în loc să o considerăm independentă de aceste ecuații [1]". Același lucru l-a spus ulterior și Heisen-

[1] A. Einstein, *Opere complete*, vol. IV, Editura „Nauka", Moscova, 1967, pg. 280. (Aici și în alte locuri, indicațiile bibliografice privitoare la o serie de cărți sînt date de autor cu referire la traducerile în limba rusă ale acestora — N.T.).

berg. După părerea lui, riglele și ceasurile „sînt construite, în general vorbind, dintr-o mulțime de particule elementare, asupra lor acționează în mod *complex* diverse cîmpuri de forță și de aceea este inexplicabil de ce tocmai comportarea lor să fie descrisă prin legi deosebit de simple" [1].

A stabili legătura dintre comportarea riglelor și a ceasurilor și structura lor discretă înseamnă însă a deduce legile macroscopice ale mișcării corpurilor, așa cum le prezintă teoria relativității, din existența și comportarea celor mai mici particule.

Aceasta este o problemă științifică deosebit de vastă, pe care fizica din prima jumătate a secolului al XX-lea a pus-o în fața perioadei următoare. Vom mai reveni la aceasta. Acum nu vrem decît să arătăm că teoria relativității și-a indicat singură limitele, considerîndu-le nu drept niște limite absolute ale cunoașterii, ci drept poziții de start ale unei teorii mai generale.

Critica teoriei relativității conținută în schița autobiografică a lui Einstein a constituit în fond o prognoză a dezvoltării ulterioare a teoriei. Ea indica latura rămasă deschisă a teoriei și în felul acesta schița anumite contururi ale unei teorii noi, viitoare, care va poseda o „perfecțiune interioară" mai mare și o „justificare exterioară" mai deplină. Tocmai de aceea observația făcută de Einstein este atît de importantă pentru prognoza științifică.

Importanța ei va deveni și mai clară dacă ne vom aminti de o altă fațetă rămasă deschisă a teoriei relativității restrînse, de o altă orientare spre o teorie mai generală („perfecțiune interioară") și totodată mai exactă („justificarea exterioară"). Ne referim la o orientare realizată de Einstein însuși în anul 1916.

E vorba de teoria relativității generalizate. Teoria elaborată de Einstein în 1905 se numește „teoria relativității restrînse", deoarece ea este valabilă numai pentru un tip special de mișcare, mișcarea de inerție lipsită

[1] W. Heisenberg, *Observații privind schița teoriei unice a cîmpului propusă de Einstein.* Vezi culegerea *Einstein și dezvoltarea gîndirii fizico-matematice*, Moscova, 1962, p. 65.

de accelerație, avînd deci o viteză constantă, respectiv mișcarea rectilinie și uniformă. Dar mișcarea rectilinie și uniformă nu poate fi constatată pe baza proceselor interne dintr-un sistem în mișcare. Dacă acest sistem (de pildă nava la care se referea Galilei) este supus unei accelerații, corpurile care se află în acest sistem primesc un impuls. Acest impuls este pus în legătură cu forțele de inerție. Dacă sistemul începe să se rotească, în el vor apărea forțe de inerție centrifuge. Se pare că aici nu mai există echivalență a sistemelor de coordonate. Newton cita în sprijinul caracterului absolut al mișcării accelerate următoarea experiență. O găleată cu apă se învîrtește, fiind atîrnată de o sfoară răsucită. Forțele centrifuge fac ca apa să se ridice spre marginile găleții. Dacă găleata nu s-ar mișca, iar toate celelalte corpuri s-ar roti în jurul ei, apa nu s-ar ridica. Așadar, nu e vorba de o mișcare reciproc relativă a găleții și a celorlalte corpuri ; urmează că forțele centrifuge au drept cauză nu rotirea găleții cu apă în raport cu alte corpuri, ci rotirea ei în raport cu spațiul însuși, adică rotația absolută.

Einstein a infirmat acest argument și a extins principiul relativității și asupra mișcării accelerate, arătînd că în anumite condiții forțele de inerție și forțele de gravitație nu pot fi deosebite între ele. El a luat drept exemplu cabina unui ascensor care stă pe loc și se află în cîmpul de gravitație al Pămîntului și o cabină care nu este supusă gravitației, dar se mișcă în sus cu aceeași accelerație ca cea provocată de gravitație. Toate manifestările forțelor gravitației în primul caz și ale forțelor de inerție în cazul al doilea vor fi identice. Forțele de inerție în timpul unei mișcări accelerate în sus vor face să se lipească picioarele oamenilor de podea și vor întinde firele de care sînt atîrnate de tavanul cabinei diverse greutăți, la fel cum vor face și forțele de gravitație în cazul unei cabine imobile.

Inexistența deosebirilor dintre forțele de gravitație și forțele de inerție nu ne permite să vedem în forțele de inerție o dovadă a mișcării absolute. Aceleași fenomene vor avea loc într-un sistem imobil sau în unul care se mișcă uniform, dacă în acesta din urmă acțio-

nează forțele de gravitație corespunzătoare. Criteriul mișcării absolute dispare și teoria relativității devine o teorie generală. Oricum s-ar schimba caracterul mișcării, în orice sistem de referință l-am transporta, oricum s-ar prezenta în acest sistem de referință, sistemul nostru de corpuri — în repaus, în mișcare rectilinie și uniformă sau în mișcare accelerată —, în nici unul din aceste cazuri procesele interne nu ne vor permite să constatăm aceste modificări.

Aici sînt necesare totuși unele supoziții suplimentare. Să ne închipuim că în exemplul considerat cabina este străbătută de un fascicul subțire de lumină. Dacă cabina se mișcă în sus, pata luminoasă de pe peretele opus se va deplasa în jos ; dacă însă asupra unei cabine imobile acționează gravitația, s-ar părea că o asemenea deplasare nu va avea loc. Am avea deci o dovadă absolută a mișcării. Această dovadă dispare însă dacă lumina posedă pondere, adică dacă și asupra ei acționează gravitația. Teoria relativității generalizate rămîne valabilă dacă lumina posedă pondere. Și după cum s-a constatat, lumina posedă într-adevăr pondere. Faptul acesta a fost confirmat în 1919, cînd s-a descoperit devierea razelor de lumină care trec în apropierea Soarelui.

Mai există încă o complicație în teoria generală a relativității. Într-o cabină de ascensor, practic, nu se poate observa că forțele gravitației și forțele inerției sînt orientate în moduri diferite. Două fire prinse de tavanul cabinei și de care atîrnă niște greutăți vor avea direcții paralele dacă cabina va descrie o mișcare accelerată în sus, adică dacă vom avea de-a face cu forțe de inerție. Dacă însă cabina este imobilă și asupra ei acționează forțele gravitației terestre, adică forțele greutății, direcțiile firelor întinse nu sînt paralele, ci converg spre centrul Pămîntului.

Ne permitem aici o mică digresiune. Atunci cînd se expune teoria relativității ca una dintre sursele unei noi faze științifico-tehnice, economice și culturale, ca unul dintre cele mai importante evenimente ale istoriei spirituale și materiale a omenirii, apare o nedumerire, o întrebare la care ne-am mai referit : e oare po-

sibil ca o direcţie sau alta a razei care pătrunde în cabină, o înclinaţie sau alta a greutăţilor atîrnate în cabină, — e oare posibil ca acestea sau alte zeci de experienţe asemănătoare, imaginate sau reale, să provoace schimbări radicale în stilul de gîndire al oamenilor, să aducă schimbări fundamentale în dominaţia omului asupra naturii ?

Faptul că nenumăratele scheme cu oglinzi, ecrane, lanterne, ceasuri, rigle etc. duc la un asemenea rezultat este într-adevăr surprinzător. El nu este însă mai surprinzător decît efectul pe care l-a avut cabina lui Galilei în care zboară fluturii, în care apa picură într-un vas şi în care toate se petrec în acelaşi fel, indiferent dacă ea se află pe o navă nemişcată sau pe una care se mişcă (această descriere o găsim în *Dialogul* lui Galilei, care a prilejuit nu numai procesul din 1633, ci şi o reacţie de durată în întreaga lume catolică, precum şi o mulţime de alte evenimente istorice). El nu este mai surprinzător nici decît urmările pe care le-au avut experienţele descrise în lucrarea lui Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica ;* or, de la această lucrare pornesc fire de legătură istorice spre marea revoluţie franceză şi spre revoluţia industrială din Anglia. Şi nu e mai surprinzător decît urmările pe care le-au avut consideraţiile abstracte şi nebuloase din opera lui Hegel, în care Herzen a descoperit „algebra revoluţiei" — idee care s-a confirmat integral în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, iar apoi în secolul nostru.

Ne vom întoarce în curînd la aceste surprinzătoare relaţii şi efecte. Deocamdată să continuăm succinta expunere a teoriei relativităţii generale. Einstein a observat deosebirea dintre forţele de inerţie şi forţele gravitaţiei : ea constă în faptul că forţele gravitaţiei, în general vorbind, sînt neomogene. Dar această neomogeneitate poate fi înlăturată. Nu vom examina aici cum a făcut acest lucru Einstein, ci ne vom mulţumi să ne referim la rezultatul eforturilor lui. Einstein consideră gravitaţia drept o modificare a proprietăţilor geometrice ale spaţiului. Atunci cînd nu există cîmpuri gravitaţionale, aceste proprietăţi corespund geometriei

lui Euclid : două linii paralele păstrează între ele aceeași distanță, suma unghiurilor dintr-un triunghi este egală cu două unghiuri drepte, două drepte perpendiculare pe o a treia sînt paralele, ele nu se depărtează și nu se intersectează oricît le-am prelungi. Procesele fizice se supun acestei geometrii pentru că corpurile lăsate în voia lor descriu traiectorii care corespund corelațiilor euclidiene : liniile de univers ale corpurilor sînt linii de univers drepte ; aceste linii formează triunghiuri euclidiene (suma unghiurilor lor este egală cu două unghiuri drepte) și în general nu se deosebesc esențial de liniile descrise de geometria lui Euclid. Legea inerției poate fi exprimată în felul următor : liniile de univers ale corpurilor lăsate în voia lor (cu alte cuvinte, comportarea corpurilor atunci cînd ea nu depinde de acțiunea reciprocă a acestor corpuri, ci de proprietățile spațiului) se supun geometriei lui Euclid ; geometria universului este o geometrie euclidiană (deoarece pentru timp sînt folosite unități speciale, ea este denumită pseudoeuclidiană).

Aceasta este geometria universului din punctul de vedere al fizicii clasice. Spațiul menține mișcările corpurilor ca mișcări rectilinii și uniforme, liniile de univers nu se curbează fără intervenția unor acțiuni externe, nici în spațiu (se menține direcția rectilinie), nici față de axa timpului (se menține mărimea absolută a vitezei). Curburile liniei de univers sînt atribuite acțiunilor reciproce. În teoria relativității generalizate, liniile de univers își pierd proprietățile euclidiene, spațiul-timp devine neeuclidian. Faptul acesta poate fi prezentat ca o curbare a lui. Să considerăm o suprafață curbă. Liniile cele mai scurte (care corespund dreptelor de pe un plan) se vor supune unei alte geometrii. Este suficient să amintim că meridianele, fiind perpendiculare față de ecuator, se intersectează la pol și că într-un triunghi format din segmentele a două meridiane și ecuator suma unghiurilor este mai mare decît două unghiuri drepte. Trecerea de la proprietățile euclidiene ale spațiului bidimensional, adică ale planului, la proprietățile neeuclidiene poate fi considerată drept curbare a acestui spațiu bidimensional. Curbarea unui

spațiu tridimensional, și cu atît mai mult a unuia cvadridimensional, nu poate fi imaginată tot atît de ușor. Și totuși Einstein a urmat tocmai această cale. El a abandonat delimitarea newtoniană dintre spațiul „plan", adică euclidian, și acțiunea reciprocă a corpurilor care curbează traiectoriile lor. Întrucît gravitația curbează liniile de univers ale *tuturor* obiectelor fizice, ea poate fi considerată drept curbare a totalității liniilor de univers, a întregului spațiu-timp cvadridimensional. Legea gravitației a lui Einstein se prezintă ca o ecuație în care de o parte avem mărimi ce măsoară curbura spațiului-timp, iar de altă parte mărimi care indică distribuția maselor, distribuția tuturor concentrărilor de energie și impuls, distribuția a tot ce curbează spațiul-timp, îl face neeuclidian, cu alte cuvinte servește drept sursă a cîmpurilor gravitaționale.

În paginile anterioare teoria relativității restrînse și teoria relativității generalizate sînt expuse extrem de sumar. Ele au fost prezentate numai în măsura în care este necesar pentru a ilustra principala particularitate a stilului gîndirii fizice din secolul al XX-lea : sinteza dintre „adîncirea rațiunii în sine însăși" și „mișcarea ei înainte". Tocmai această sinteză este baza uriașului potențial intelectual al științei contemporane. După Einstein și Bohr știința contemporană nu se mai oprește în fața nici unei transformări a celor mai generale și mai fundamentale reprezentări. Ceea ce la începutul secolului ar fi părut atît de paradoxal încît ar fi depășit închipuirea, astăzi se lovește de o observație sceptică de un gen cu totul diferit : „Această concepție nu este suficient de demențială pentru a fi justă". Dar nu numai atît. Cele mai curajoase și mai paradoxale propuneri cu privire la înlocuirea principiilor fundamentale sînt comentate de pe pozițiile unei posibile verificări experimentale, ale unei posibile „justificări exterioare", ale unei posibile acumulări de constatări experimental verificate, adică ale „mișcării rațiunii înainte".

În aceasta constă potențialul științei contemporane. Dar pentru prognoză, alături de potențial trebuie să

cunoaştem direcţiile cele mai probabile ale mişcării ulterioare. Pentru a determina încotro se îndreaptă un curent de apă, trebuie să cunoaştem nu numai nivelul bazinului din care porneşte, ci şi talvegul pe care îl va urma torentul. Pentru ştiinţă asemenea talveguri sînt problemele ei nerezolvate.

Am făcut cunoştinţă cu una dintre ele. Este vorba de a deduce legile relativiste de comportare a riglelor şi a ceasurilor din structura lor corpusculară. Einstein a formulat această problemă rezumînd şi caracterizînd teoria relativităţii restrînse.

Rezumînd teoria relativităţii generalizate, el a enunţat o altă problemă. Teoria relativităţii generalizate este teoria gravitaţiei. Ce rol au însă alte cîmpuri ? Atunci cînd se elabora teoria relativităţii generalizate, în afară de cîmpul gravitaţional era cunoscut şi cel electromagnetic. Einstein a lucrat treizeci de ani la alcătuirea unei teorii unitare din care să rezulte nu numai legile gravitaţiei, ci şi legile electromagnetismului. Străduinţele lui nu au dus la rezolvarea problemei : o teorie unitară a cîmpului nu a fost elaborată. A fost oare sterilă această încordare extraordinară a celui mai genial cap pe care îl cunoaşte istoria fizicii ? Au fost oare căutările unei teorii unitare a cîmpului o irosire lipsită de perspectivă a forţelor sale intelectuale ? În deceniile IV-VI ale secolului nostru mulţi erau de părere că acèste căutări nu pot duce la nici un rezultat. Astăzi, la această chestiune nu se mai poate răspunde fără o anumită precizare a conţinutului pe care îl are noţiunea de „rezultat" atunci cînd e vorba de eforturile gîndirii fizice. Căutarea unei teorii unitare a rămas fără rezultat în sensul că nu au fost găsite ecuaţiile care să descrie nu numai cîmpul gravitaţional, ci şi cîmpul electromagnetic. Mai mult chiar, ştiinţa a descoperit o multitudine de alte cîmpuri, în afară de cel gravitaţional şi cel electromagnetic. Acestor cîmpuri le corespund diverse tipuri de particule elementare. Aşadar, sarcina constă astăzi nu numai într-o unificare a teoriei gravitaţiei şi a teoriei electromagnetismului, ci şi în crearea unei teorii care să deducă valorile masei, ale sar-

cinii și ale altor parametri ai fiecărui tip de particule din ecuații unice.

Uneori căutarea unei soluții noi duce la constatarea imposibilității ei. Este, de pildă, cazul căutării unui perpetuum mobile. Același lucru se poate spune despre căutarea unor fenomene care să demonstreze mișcarea în raport cu eterul. În primul caz căutările au dus la descoperirea conservării energiei, iar în cel de-al doilea la teoria relativității. În alte cazuri însă, lucrurile se petrec altfel. În istoria științei, cercetările neîncununate de rezultate au constituit uneori o problemă la care *deocamdată* știința nu putea da răspuns, o problemă adresată de fapt viitorului. Asemenea probleme, spre deosebire de cele menționate mai sus, nu dispar, ele se pun iar și iar, formînd o tradiție pe care fiecare epocă o transmite epocii următoare. Este un *rezultat* deosebit de important al gîndirii științifice din fiecare epocă. Dacă avem în vedere nu nivelul de cunoștințe, ci dinamica, trecerea la un alt nivel, putem spune — și faptul acesta este deosebit de important pentru prognoză — că această „componentă-problemă" a științei este nu mai puțin importantă decît „componenta-răspuns".

Vom vedea mai jos că prognoza fundamentală pentru sfîrșitul secolului nostru cuprinde găsirea răspunsului la problema pusă de Einstein, aceea a teoriei unitare a cîmpului, mai exact problema teoriei unitare a particulelor elementare, care se pune în zilele noastre cu o insistență tot mai mare. Trebuie să menționăm, firește, că în acest context cuvîntul „prognoză" nu este decît un pseudonim al constatării unei tendințe conturate.

Pentru a atribui cuvîntului „prognoză" un sens întrucîtva mai concret, nu este suficientă o caracterizare a potențialului intelectual al științei (constatarea caracterului general și vast al propozițiilor de la care pornește și a sintezei dintre „adîncirea rațiunii în sine însăși" și „mișcarea ei înainte") și nici caracterizarea talvegurilor, respectiv a problemelor cu care știința este confruntată, dar care nu au fost încă rezolvate. Este

necesar în plus să ne referim la acele forțe ale dezvoltării științei, care depind de efectele ei, precum și de volumul de eforturi intelectuale și materiale repartizat de societate pentru soluționarea problemelor științifice.

Am vorbit pînă acum despre ideile relativității, despre ideile teoriei unitare a cîmpului, despre conflictele de idei, despre realizarea unei sinteze între adîncirea logică a ideilor și cunoașterea experimentală a lumii. În toate acestea am văzut verigi care stau la originea prognozei științifice. Urmează oare de aici că ideile guvernează lumea, că ele pot explica mersul progresului științific și social?

Nu, nu ideile guvernează lumea. În ultimă instanță forța motrice a progresului social este dezvoltarea forțelor de producție ale omenirii. Acest rol al forțelor de producție este confirmat de întreaga istorie a omenirii și în forma cea mai pregnantă de istoria ultimelor decenii. Astăzi este știut de toată lumea că descoperirea și punerea în valoare a energiei atomice a determinat cele mai importante procese tehnico-economice, sociale și culturale ale contemporaneității. Totodată este un lucru binecunoscut că eliberarea energiei atomice nu a rezultat dintr-o dezvoltare logică spontană a ideii în spiritele oamenilor, ci din dezvoltarea industriei și a experimentului. Astăzi știința nu este despărțită de industrie printr-un zid, ea formează împreună cu industria un complex unitar, în care fiecare ramură nu poate exista și evolua fără celelalte. Cît despre experiment, știința contemporană este experimentală de la un capăt la altul într-o măsură mai mare decît oricînd în trecut. Este cazul să revenim la consecințele surprinzătoare ale schemelor experimentale cu oglinzi, cu raze de lumină și cabine de ascensor. E o realitate esențială faptul că astăzi cele mai mari revoluții ale gîndirii, cele mai mari prefaceri ale stilului și logicii raționamentului științific (cele mai importante „adînciri ale rațiunii în sine însăși“) nu pot fi separate de înțelegerea univocă a unor noi și noi fapte („mișcarea înainte a rațiunii“). Această sinteză a celor două direcții de mișcare ale rațiunii pe care Laplace le opunea odinioară una alteia, constituie principalul „secret“ al științei secolului al XX-lea;

această sinteză şi-a găsit expresia cea mai clară în fuziunea criteriilor „perfecţiunii interioare“ şi „justificării exterioare“, rezultatul cel mai important al acestei fuziuni fiind teoria relativităţii. Ideea principală a lucrării noastre constă în afirmaţia că perspectiva sintezei ulterioare şi mai intime a „adîncirii raţiunii în sine însăşi“ şi a „mişcării ei înainte“ este punctul de plecare al prognozelor privitoare la progresul ştiinţific. Să subliniem încă o dată că nu este nicidecum vorba de o dezvoltare spontană a ideilor ca principală forţă motrice a progresului. O asemenea dezvoltare spontană s-a bazat în toate timpurile pe experienţă, pe industrie, pe o verificare empirică, pe o „justificare exterioară“. Cît despre epoca noastră, însăşi dezvoltarea ideilor are loc astăzi sub forma unor experimente, atît mintale, cît şi reale. Pentru teoria relativităţii este caracteristică eliminarea radicală din concepţia despre lume a tuturor noţiunilor care în principiu nu conduc spre experiment, a tuturor reprezentărilor (de pildă a reprezentărilor despre mişcarea în eter şi despre mişcarea eterului însuşi) care nu pot fi obiectul unei verificări experimentale. Iată de ce expunerea teoriei relativităţii reclamă, de obicei, scheme experimentale cu oglinzi, raze de lumină etc., scheme care în ultimă instanţă apar ca deosebit de importante pentru evoluţia spirituală şi pentru dezvoltarea forţelor de producţie ale omenirii.

Din stilul experimental al gîndirii ştiinţifice contemporane, din sinteza „perfecţiunii interioare“ şi a „justificării exterioare“, din sinteza „adîncirii în sine însăşi“ şi a „mişcării înainte“ rezultă o forţă superioară de dinamism, proprie ştiinţei contemporane. Într-un timp concepţiile ştiinţifice erau deduse din scheme logice care păreau imuabile. Datele experimentale interveneau în ştiinţă fără să zdruncine principiile ei fundamentale. Astăzi experimentul constituie baza unei revizuiri radicale a principiilor iniţiale. De aici rezultă un nou dinamism al progresului ştiinţific şi tehnic. S-a mai vorbit despre cercetările de control din laboratoarele uzinale ca garanţie a atingerii nivelului tehnic programat, despre căutarea de noi construcţii şi procedee tehnice ca garanţie a vitezei nenule a progresului teh-

nic, despre căutarea unor noi scheme fizice ideale ca garanţie a accelerării progresului şi despre cercetările fundamentale care duc la creşterea acestei accelerări. Tocmai dinamismul principiilor fundamentale, care au devenit ele însele un obiect al verificării experimentale (tocmai în aceasta constă esenţa cercetărilor fundamentale) este caracteristic pentru ştiinţa din secolul al XX-lea şi este legat de sinteza logicii şi a experimentului, de sinteza „adîncirii raţiunii în sine însăşi" şi a „mişcării ei înainte".

De această sinteză este legat caracterul *explicit* al dependenţei progresului ştiinţific de dezvoltarea producţiei, dependenţă care a fost pusă în evidenţă încă în secolul al XIX-lea.

Vom încerca acum, pornind de la această corelaţie, să determinăm ce treaptă superioară a sintezei „adîncirii în sine însăşi" şi a „mişcării înainte" decurge din aplicarea pe scară largă în producţie a fizicii relativiste şi cuantice. Sîntem convinşi că tocmai această sinteză reprezintă prognoza principală pentru ştiinţa perioadei finale a secolului al XX-lea. Dar prognoza nu decurge din considerente pur logice. Ea se bazează pe aplicarea în producţie a ideilor fizicii. Aceasta va constitui tema capitolului următor.

3
Energetica atomică

Să ilustrăm acum particularitatea economică principală a secolului atomic, luînd drept exemplu energetica atomică și expunînd mai amănunțit perspectivele ei, la care ne-am referit doar în treacăt. În primul rînd să lămurim ce am avut în vedere cînd am vorbit despre reactoare atomice care produc mai mult combustibil nuclear decît consumă. Trebuie să vorbim aici despre fenomene care, probabil, sînt cunoscute de majoritatea cititorilor, și anume despre procesele nucleare care pun în libertate energia acumulată în nuclee. Ne vor servi drept scuză interesele minorității mai puțin inițiate și caracterul foarte sumar al explicațiilor ce urmează.

Teoria relativității a stabilit legătura dintre energia unui corp și masa lui, reflectată în ecuația $E = mc^2$. Această relație a permis ulterior explicarea unui important rezultat al fizicii nucleare. Masa nucleului este ceva mai mică decît suma maselor particulelor nucleare — a protonilor și neutronilor din care este format nucleul. Diferența (denumită „defect de masă“) este mai mare la unele elemente și mai mică la altele. Din punctul de vedere al teoriei relativității, această

diferență poate fi corelată cu energia de legătură a particulelor din nucleu și explicată prin diferența dintre energia particulelor nucleare luate separat (adică energia totală a nucleului dezagregat, respectiv energia totală a particulelor încă nelegate într-un tot, din care este alcătuit nucleul) și energia totală a nucleului. Energia nucleului este mai mică decît suma energiilor particulelor care îl alcătuiesc, din care cauză și masa lui este mai mică decît suma maselor particulelor. Atunci cînd particulele, unindu-se, formează un nucleu, se degajează o energie și în mod corespunzător scade masa. În unele nuclee particulele sînt „împachetate" mai compact, iar diferența dintre energia nucleului și energia totală a particulelor componente este în acest caz relativ mai mare, deci și defectul de masă este mai mare. În nucleele altor elemente particulele nu sînt împachetate atît de dens și defectul de masă este mai mic. Firește, este vorba de o diferență care depinde nu de dimensiunile comparative ale nucleelor (ele pot consta din cîteva particule, din cîteva zeci de particule, iar în cazul celor mai grele elemente, nucleul cuprinde peste 200 de particule), ci de defectul de masă care revine la o particulă, de defectul de masă specific.

Să presupunem că am regrupat particulele și le-am așezat în nucleu în așa fel încît defectul de masă a crescut. Atunci, datorită unei asemenea împachetări mai dense, mai economicoase, o parte din energie se va degaja. Căror treceri de la un element la altul le va corespunde o asemenea eliberare de energie ?

Tabelul lui Mendeleev începe cu hidrogenul, al cărui nucleu constă dintr-un singur proton. Se înțelege că în acest caz nu există nici un defect de masă. Nucleul elementului următor — heliul — constă din doi protoni și doi neutroni ; prezentînd un defect de masă apreciabil, sinteza nucleelor de heliu din nuclee de hidrogen (adică din protoni) și din neutroni ar degaja o cantitate relativ mare de energie. La mijlocul tabelului lui Mendeleev se află elemente cu un defect de masă specific mai mare decît în prima parte a tabelului, unde sînt dispuse elementele ușoare, și mai mare decît în ultima parte a tabelului, unde se află elementele grele. De aceea, scin-

diferență poate fi corelată cu energia de legătură a particulelor din nucleu și explicată prin diferența dintre energia particulelor nucleare luate separat (adică energia totală a nucleului dezagregat, respectiv energia totală a particulelor încă nelegate într-un tot, din care este alcătuit nucleul) și energia totală a nucleului. Energia nucleului este mai mică decît suma energiilor particulelor care îl alcătuiesc, din care cauză și masa lui este mai mică decît suma maselor particulelor. Atunci cînd particulele, unindu-se, formează un nucleu, se degajează o energie și în mod corespunzător scade masa. În unele nuclee particulele sînt „împachetate" mai compact, iar diferența dintre energia nucleului și energia totală a particulelor componente este în acest caz relativ mai mare, deci și defectul de masă este mai mare. În nucleele altor elemente particulele nu sînt împachetate atît de dens și defectul de masă este mai mic. Firește, este vorba de o diferență care depinde nu de dimensiunile comparative ale nucleelor (ele pot consta din cîteva particule, din cîteva zeci de particule, iar în cazul celor mai grele elemente, nucleul cuprinde peste 200 de particule), ci de defectul de masă care revine la o particulă, de defectul de masă specific.

Să presupunem că am regrupat particulele și le-am așezat în nucleu în așa fel încît defectul de masă a crescut. Atunci, datorită unei asemenea împachetări mai dense, mai economicoase, o parte din energie se va degaja. Căror treceri de la un element la altul le va corespunde o asemenea eliberare de energie ?

Tabelul lui Mendeleev începe cu hidrogenul, al cărui nucleu constă dintr-un singur proton. Se înțelege că în acest caz nu există nici un defect de masă. Nucleul elementului următor — heliul — constă din doi protoni și doi neutroni ; prezentînd un defect de masă apreciabil, sinteza nucleelor de heliu din nuclee de hidrogen (adică din protoni) și din neutroni ar degaja o cantitate relativ mare de energie. La mijlocul tabelului lui Mendeleev se află elemente cu un defect de masă specific mai mare decît în prima parte a tabelului, unde sînt dispuse elementele ușoare, și mai mare decît în ultima parte a tabelului, unde se află elementele grele. De aceea, scin-

dînd nucleul de uraniu (238 de particule nucleare) în două nuclee de cîte 115—120 de particule nucleare, am ajunge la o împachetare mai economicoasă a particulelor şi respectiv la un defect de masă specific mai mare. Prin degajarea de energie care ar avea loc s-ar elibera numai o mică parte din energia ce corespunde întregii mase a substanţei. În acest proces nu este folosită o energie apropiată de masa particulelor înmulţită cu pătratul vitezei luminii. Şi totuşi energia care se eliberează prin această scindare este de milioane de ori mai mare decît energia ce se obţine din aceeaşi cantitate de substanţă atunci cînd se regrupează atomii şi moleculele, de pildă atunci cînd arde un combustibil. În fizica atomică energia este măsurată de obicei în electronvolţi. Un electronvolt reprezintă energia pe care o primeşte un electron parcurgînd o diferenţă de potenţial de un volt. Cînd fisionează un nucleu de uraniu se degajează 200 milioane de electronvolţi, o energie de cîteva milioane de ori mai mare decît cea care revine la un atom în cazul reacţiilor chimice care degajează energie, de exemplu în cazul arderii unui combustibil. Un gram de uraniu degajează mai multă căldură decît trei tone de cărbune care se consumă arzînd.

Posibilitatea practică a regrupării particulelor nucleare în nuclee cu un defect de masă mai mare şi a valorificării diferenţei rezultate din defectul de masă a început să se contureze în anii deceniului al patrulea al secolului nostru. La începutul deceniului au fost descoperiţi neutronii, particule lipsite de sarcină electrică. Neavînd sarcină, ele nu sînt supuse forţei coulombiene de respingere din partea nucleelor şi pot pătrunde cu uşurinţă în nuclee, provocînd reacţii nucleare. Pînă la sfîrşitul deceniului al patrulea erau cunoscute numai reacţiile nucleare de dezintegrare radioactivă, în care nucleul expulzează o particulă sau cîteva, iar elementul trece în căsuţa vecină sau în una apropiată a tabelului lui Mendeleev. În 1939 s-a constatat că atunci cînd uraniul este bombardat cu neutroni, nucleul de uraniu se scindează în două jumătăţi aproape egale, care reprezintă nuclee atomice ale unor elemente situate la mijlocul tabelului lui Mendeleev. Diferenţa rezultată din

defectul de masă este cea menționată mai sus — 200 de milioane de electronvolți —, astfel încît la fiecare particulă nucleară revine o „economie“ de circa 100 milioane de electronvolți. Degajarea acestei energii (care corespunde reducerii masei nucleului de uraniu prin scindarea lui) sub forma energiei cinetice a fragmentelor de nuclee de uraniu și sub forma de radiații este însoțită de expulzarea din nucleele scindate a unor neutroni, care ajung în alte nuclee și astfel, în anumite condiții, apare reacția în lanț. Cu alte cuvinte, chiar primul neutron (și este știut că în cazul uraniului asemenea neutroni pot apărea spontan, sub acțiunea razelor cosmice) va provoca fisiunea întregii mase de uraniu.

Reacția în lanț nu va înceta dacă în procesul fisiunii nucleului va fi emis un număr de neutroni în medie mai mare decît unul, adică dacă la fiecare neutron consumat va fi emis un număr mai mare decît un neutron nou. Ce-i drept, desfășurarea reacției în lanț este împiedicată de captarea neutronilor de către nuclee care în urma acestei captări nu fisionează. Dacă din fiecare grup de noi neutroni emiși un număr prea mare va fi captat de nuclee fără fisiunea acestora din urmă, reacția în lanț nu va avea loc. Uraniul natural obișnuit este alcătuit în general din doi izotopi : uraniu 238, cu 238 de particule nucleare, și uraniu 235, cu 235 de particule (mai există și un al treilea izotop, uraniu 233, cu 233 de particule, care însă se află în cantități foarte mici în uraniul natural). Cantitatea de uraniu 238 este de 140 de ori mai mare decît cantitatea de uraniu 235. Nucleele acestor izotopi reacționează în mod diferit la incidența unui neutron lent (cu o energie nu mai mare de 2 milioane de electronvolți). Nucleele de uraniu 238, captînd un asemenea neutron, se transformă în nuclee ale unui izotop nou — uraniu 239. Așadar ele nu se vor mai dezintegra. Fiecare nou neutron are cu mult mai mari șanse să fie captat de un nucleu de uraniu 238 decît să provoace o fisiune și să participe la reacția în lanț.

De aceea în uraniul obișnuit, natural, reacția în lanț nu are loc. Altfel se petrec lucrurile atunci cînd se separă uraniul 235. Nucleele acestui izotop fisionează

atunci cînd în nucleul lor pătrunde un neutron, şi în uraniul 235 pur începe reacţia în lanţ. Pentru aceasta se mai cere însă o condiţie suplimentară. Dacă bucata de uraniu 235 este mică, cea mai mare parte a neutronilor o va părăsi fără să provoace fisiunea nucleelor. Pentru ca reacţia în lanţ să se producă este nevoie de o bucată de uraniu 235 nu mai mică de o anumită masă, numită masă critică.

Să vedem acum ce se întîmplă cînd un nucleu de uraniu 238 captează un neutron. El se transformă într-un nucleu de uraniu 239. Acest izotop instabil se dezintegrează foarte repede, transformîndu-se în neptuniu 239, un izotop nou, un element artificial din tabelul lui Mendeleev, primul dintre elementele mai grele decît uraniul, denumite elemente transuranice. În continuare, neptuniul, care are o perioadă de înjumătăţire de 2, 3 zile, se transformă într-un izotop al plutoniului. Nucleele de plutoniu fisionează sub influenţa neutronilor, asemenea nucleelor de uraniu 235.

Neutronii cu o energie mai mică de 2 milioane de electronvolţi provoacă fisiunea uraniului 235 şi a plutoniului. Ele ar putea întreţine reacţia în lanţ şi în uraniul natural dacă ar putea fi reduse şansele de captare a neutronilor de către uraniul 238. Neutronii care dispun de asemenea şanse reduse de captare sînt cei foarte lenţi. Dar cum se poate realiza ca neutronii relativ rapizi care se formează prin fisiunea uraniului 235 (ei au o energie medie de cca 2 milioane de electronvolţi) să-şi micşoreze viteza în aşa fel ca energia lor să se reducă la numai cîţiva electronvolţi sau şi mai puţin înainte de a întîlni nucleele de uraniu 238 ? Avînd o energie atît de mică, neutronii nu vor fi captaţi de nucleele de uraniu 238, ci vor provoca fisiunea uraniului 235, şi în condiţii adecvate se va declanşa reacţia în lanţ. Dacă în masa de uraniu natural vom intercala o altă substanţă care va încetini viteza neutronilor fără a-i capta decît în număr mic, problema poate fi rezolvată. Ca moderator de viteză poate fi folosit hidrogenul, ale cărui nuclee prin ciocniri elastice cu neutronii le reduc viteza. Nucleele de hidrogen captează însă o cantitate prea mare de neutroni, formînd nuclee de hidro-

gen greu sau deuteriu. De aceea, dacă se folosește ca moderator apa, substanță care conține o cantitate mare de hidrogen, în uraniul natural nu se realizează o reacție în lanț ; apa poate fi utilizată ca moderator atunci cînd avem de-a face cu uraniu îmbogățit în izotopul uraniu 235. Deuteriul, adică hidrogenul greu, în al cărui nucleu, în afară de un proton, mai există și un neutron, captează neutronii în cantitate mai mică ; de aceea dacă moderatorul este apa grea (adică apă în care hidrogenul este înlocuit prin deuteriu), putem folosi uraniu natural. De asemenea, rolul de moderator îl poate juca grafitul ; în primul reactor nuclear au fost folosite bare de uraniu împlîntate într-un bloc de grafit.

Să spunem acum cîteva cuvinte despre reactoarele în care fisiunea nucleelor de uraniu este folosită pentru obținerea căldurii și pentru producerea de energie electrică. Fragmentele de nuclee posedă o mare energie cinetică ; ele transmit această energie mediului înconjurător, a cărui temperatură crește. Pentru ca această creștere a temperaturii să nu distrugă reactorul, în „zona activă", adică în spațiul în care are loc fisiunea uraniului, se introduc bare de cadmiu, care absorb cu putere neutronii. Introducerea acestor bare permite reglarea reacției și a degajării de căldură.

Preluarea și transferarea căldurii se efectuează prin intermediul unui agent de răcire : apă, metal lichid sau un gaz cu o activitate chimică redusă.

Prima realizare a energeticii atomice, faptul care a inaugurat era atomică, nu a fost nicidecum bomba atomică. La fel prima realizare a erei motoarelor termice nu a fost arma de foc, deși ea poate fi considerată ca un cilindru din care pistonul, sub presiunea gazelor ce se dilată, este expulzat sub formă de proiectil sau glonț. Acest motor cu un timp nu a fost prima realizare a energeticii termice, cu toate că tocmai el le-a sugerat lui Leibniz, Huyghens și Papin ideea unui motor industrial care să transforme presiunea gazului sau a aburului în lucru mecanic. În ce privește energia atomică, primele reactoare care au produs plutoniu pentru bombele atomice au realizat schema fizică inițială care, transformîndu-se, a devenit baza folosirii energetice

propriu-zise a reactoarelor nucleare. Transformarea a fost destul de profundă, deşi nu atît de radicală, şi nu a cerut nici pe departe atît timp cît cel ce a despărţit descoperirea armei de foc de inventarea motoarelor termice. În reactoarele în care se producea plutoniu pentru bombele atomice se desfăşurau două procese nucleare principale. Primul consta în fisiunea nucleelor de uraniu 235. Pentru ca acest proces să continue, ducînd la o reacţie în lanţ, pentru ca numărul de neutroni emişi în procesul fisiunii şi care determină fisiunea altor nuclee de uraniu 235 să nu descrească, a fost necesară, după cum s-a mai spus, încetinirea neutronilor. Dar o asemenea încetinire, care nu permitea nucleelor de uraniu 238 să capteze un număr prea mare de neutroni, nu a înlăturat totuşi cu desăvîrşire această captare. Tocmai captarea la care ne referim a fost cel de-al doilea (iar din punctul de vedere al obiectivelor de producţie primul) proces fundamental care s-a produs în reactor. Captarea neutronilor de către nucleele uraniului 238 transformă în cele din urmă acest element în plutoniu.

Să presupunem că plutoniul care se formează în reactor este folosit pentru acţionarea aceluiaşi reactor : el ia locul combustibilului nuclear consumat, se dezintegrează, emite noi neutroni, dintre care o parte ajung în nucleele de plutoniu şi întreţin reacţia în lanţ, iar o parte ajung în nucleele de uraniu 238 şi le transformă în cele din urmă în noi nuclee de plutoniu.

Obţinem astfel o schemă fizică a cărei realizare practică în proporţie de masă va constitui o revoluţie profundă în energetică. Totul depinde de numărul neutronilor care depăşeşte cantitatea necesară pentru întreţinerea reacţiei în lanţ, formînd un nou stoc de combustibil nuclear. Plutoniul se forma şi mai înainte, în primele reactoare în care se produceau încărcăturile bombelor atomice. El constituia de fapt produsul de bază al acestor reactoare. Dar plutoniul nu revenea în reactor, nu era folosit pentru recuperarea combustibilului nuclear, nu avea rolul unui asemenea combustibil, nu lua parte la reacţia dirijată, nu era o sursă de energie — baza centralei atomice. Fisiunea plutoniului nu

era o reacţie în lanţ dirijată, cu o viteză constantă, ea se producea sub formă de explozie. Găsim aici o analogie totală cu arma de foc (actul unic al expulzării pistonului) şi cu motorul termic cu piston (mişcarea de du-te-vino a pistonului care întreţine dilatarea, ce se repetă neîncetat, a aburului sau a gazului).

Încă cîteva cuvinte despre această analogie. Bomba atomică pe bază de plutoniu reprezintă un reactor pur energetic (care produce numai energie şi nu combustibil atomic) cu neutroni rapizi. Bineînţeles, o asemenea definiţie nu este mai puţin convenţională decît definirea tunului ca maşină termică : bomba este un reactor care acţionează o singură dată. E oare posibil ca ea să fie transformată într-un reactor dirijat, care să degajeze în permanenţă energie pentru nevoile producţiei ? Este oare posibilă o centrală atomoelectrică în care neutronii să nu-şi încetinească mişcarea ?

Să amintim că încetinirea neutronilor a fost necesară pentru întreţinerea reacţiei în lanţ. Fără încetinire neutronii care se formează în uraniul natural în procesul de fisiune a nucleelor de uraniu 235 ar întîlni un număr cu mult mai mare de nuclee de uraniu 238 şi ar fi captaţi de aceste nuclee, fără fisiune şi fără emiterea în continuare a neutronilor. Dar dacă reactorul atomic conţine numai (sau într-o proporţie foarte mare) uraniu 235, situaţia se schimbă. Acum neutronii rapizi nu mai întîlnesc nucleele de uraniu 238, care lipsesc sau există într-un număr foarte mic în zona activă a reactorului. Reacţia în lanţ continuă. Totodată indicele de reproducere a neutronilor (numărul probabil de neutroni care se formează cu prilejul fisiunii provocate de un neutron) va fi cu mult mai mare decît în cazul neutronilor termici lenţi. Dar pentru o reacţie dirijată nu este necesară o reproducere rapidă a neutronilor şi, respectiv, creşterea în progresie geometrică a numărului de nuclee atomice care fisionează. Numărul excedentar de neutroni este suficient pentru a compensa diversele pierderi (absorbţia neutronilor de către materialele din care este făcut echipamentul reactorului, de către agentul de răcire etc.) şi, afară de aceasta, pentru ca o parte din neutroni să ajungă din zona activă

în stratul gros de uraniu natural care înconjoară uraniul 235 şi să transforme parţial uraniul 238, care precumpăneşte în acest strat, în uraniu 239, care, la rîndul lui, se va transforma în neptuniu şi apoi în plutoniu. Acest plutoniu va înlocui uraniul 235 care se află în zona activă centrală. Reactorul va putea funcţiona fără noi cantităţi de combustibil nuclear aduse din afară, fără noi materiale fisionabile. Mai mult decît atît, se poate obţine ca numărul nucleelor noi de plutoniu să fie mai mare decît numărul nucleelor de uraniu 235 fisionate sau de nuclee de plutoniu, adică reactorul să producă mai mult combustibil nuclear decît consumă. Se poate obţine, de pildă, ca fiecare pereche de nuclee de plutoniu fisionate să provoace formarea a trei noi nuclee de plutoniu din nuclee de uraniu 238. La această particularitate a reactorilor reproducători vom mai reveni.

Reactorul la care ne referim poartă denumirea de reactor cu neutroni rapizi. E de presupus că lui îi aparţine viitorul. Dar numai viitorul. Astăzi reactorii cu neutroni rapizi încă nu pot rivaliza cu succes cu reactorii cu neutroni lenţi. Folosirea acestora din urmă prezintă anumite avantaje. Într-un reactor cu neutroni rapizi zona activă în care se produce fisiunea nucleelor şi degajarea căldurii are dimensiuni foarte mici. Preluarea căldurii este în aceste condiţii dificilă şi complexă. Reactorul cu neutroni lenţi este lipsit de acest neajuns şi preluarea căldurii este mai simplă, mai uşoară şi mai ieftină. În acest caz scade însă numărul de neutroni care provoacă fisiunea, descreşte numărul de neutroni noi şi balanţa lor nu ne permite să obţinem din uraniu 238 o cantitate de combustibil nuclear mai mare decît cea consumată. Şi totuşi şi în cazul folosirii neutronilor lenţi se poate realiza o creştere a cantităţii de combustibil nuclear. Se ştia de mult că toriul, element care se găseşte în scoarţa Pămîntului în cantitate mai mare decît uraniul, se transformă prin captarea de neutroni într-un izotop al uraniului cu un nucleu avînd 233 de particule. Acest uraniu 233 este una dintre părţile componente ale uraniului natural, dar conţinutul lui este de multe ori mai mic decît conţinutul de uraniu

235. O proprietate a lui a făcut să crească nemăsurat importanța acestui izotop și posibilitatea obținerii lui din toriu. E vorba de faptul că uraniul 233, asemenea plutoniului și uraniului 235, sub influența neutronilor fisionează și din această cauză reprezintă încă un tip de combustibil nuclear. Numărul neutronilor care se formează în procesul de fisiune a uraniului 233 este relativ mare, și suficient pentru a face să crească stocul de combustibil nuclear chiar în cazul folosirii neutronilor lenți. Putem înconjura zona activă în care se consumă uraniul 235 cu toriu. Neutronii care întîlnesc nucleele de toriu vor provoca formarea uraniului 233.

Această schemă — folosirea în loc de uraniu a toriului, element mai răspîndit, și producerea în reactor a unei cantități mai mari de combustibil nuclear decît consumul acestui combustibil — are o importanță primordială pentru soluționarea problemei resurselor de energie. Dar înainte de a aborda această temă, să revenim la observația făcută în primul capitol cu privire la caracterul progresului tehnic în secolul atomic, cu privire la modificarea nu numai a construcțiilor și schemelor tehnologice, ci și a ciclurilor fizice ideale, spre a căror materializare maximă tinde tehnica în dezvoltare.

Tocmai în acest sens evoluează reactoarele. Paralel cu progresul pur tehnic, adică cu realizarea tehnică tot mai completă a fiecărei scheme fizice (alegerea unei noi construcții a reactorului, a unui nou moderator, a unui nou agent de răcire), însăși schema fizică ideală este înlocuită cu o alta. Un exemplu în acest sens este trecerea de la reactorii care consumă combustibil nuclear furnizat mereu de noi cantități din afară la reactorii reproducători. Apare deci o schemă fizică nouă, progresul tehnic devine progres științifico-tehnic, el aduce nu numai o informație tehnologică, ci și o informație despre legitățile reacțiilor nucleare, lărgește cadrul tehnicii în funcție de schema fizică, realizează apropierea de un ciclu ideal care se schimbă la rîndul său, fiind înlocuit cu un alt ciclu ideal.

Asemenea modificări ale ciclului ideal sau ale canonului spre care tinde progresul tehnic au avut loc,

după cum am mai arătat, și în perioada clasică. Dar apariția unor noi linii ale progresului tehnic legate de noi scheme fizice ideale avea pe atunci un caracter sporadic. Schemele fizice se stabileau pentru un secol, uneori chiar pe o durată ceva mai mare, rareori una mai mică. Aceasta este adevărat pentru scheme ale fizicii clasice. Astăzi, în secolul atomic, sub privirile unei singure generații are loc uzura morală nu numai a construcțiilor, ci și a schemelor fizice ideale. Încă nu s-a materializat nici pe departe în forme stabile schema degajării energiei atomice cu ajutorul combustibilului nuclear obținut prin fisiunea izotopilor, dar reacția de captare a neutronilor și de transformare succesivă a nucleelor de uraniu 238 a și devenit o reacție practic aplicabilă ; apoi rolul acesta l-a pretins un sistem complex de reacții care duc la reproducerea combustibilului nuclear, iar în perspectivă a apărut reacția termonucleară ca sursă de energie. Fiecare verigă nouă devine punctul de plecare, dacă nu al unor mutații economice, în orice caz al unor prognoze economice. Instituțiile de planificare nu mai au nevoie doar de specialiști în fizica aplicată, ci și de experimentatori și tehnicieni din domeniile științei pure, și cu cît mai „pur", mai general este domeniul respectiv, cu atît sînt mai profunde (deși mai nedeterminate) mutațiile pe care le promite.

Ne-am mai oprit asupra acestei ierarhii de concepții științifice tot mai generale și de prognoze tot mai radicale și tot mai puțin certe în momentul de față, conexe cu aceste concepții. Reactoarele reproducătoare dețin în această ierarhie un loc mediu. Putem aprecia cu o mare exactitate efectul calitativ al transformării acestor reactoare în componenta principală a energeticii atomice. Cît despre indicatorii cantitativi ai unei asemenea transformări și rezultatele ei cantitative, trebuie să ne limităm doar la niște date convenționale, la cunoașterea ordinului cifrelor și la probabilitatea unor proporții mai mari sau mai mici foarte depărtate de certitudine [1].

[1] Vezi A. P. Alexandrov, *Atomnaia energhetica i ee rol v tehniceskom progresse, VII-a Mirovaia Energheticeskaia Konferenția*, Moscova, 1968.

După cum am mai spus, sfîrşitul deceniului al şaptelea este o perioadă cînd costul unui kilowatt-oră la o centrală atomică s-a apropiat de costul unui kilowatt-oră la centralele termice clasice. În a doua jumătate a deceniului al cincilea au răsunat voci optimiste care se aşteptau la introducerea foarte rapidă a energiei atomice în balanţa energetică şi voci pesimiste care amînau această valorificare pentru mai tîrziu ; uneori se prevedea o perioadă de 20 de ani. Această din urmă prognoză a fost confirmată de evoluţia reală ; astăzi prognoza este foarte optimistă.

Apropierea costului unui kilowatt-oră produs de centralele atomice de costul aceleiaşi energii produse de centralele clasice este ilustrată, printre altele, de datele publicate în S.U.A. În această ţară, unde există zăcăminte bogate şi relativ accesibile de huilă, nu se prevede epuizarea rezervelor respective în următoarele cinci decenii ; chiar trecerea la zăcăminte mai puţin accesibile şi care vor necesita cheltuieli mai mari nu se va repercuta probabil simţitor asupra costului huilei pînă la sfîrşitul secolului nostru. Potrivit unor prognoze ştiinţific fundamentate, preţurile la combustibil trebuie să se stabilizeze la nivelul unui dolar pe calorie pentru huilă, petrol şi gaze [1]. În ceea ce priveşte energia atomică, se poate prevedea o scădere substanţială atît a costului combustibilului nuclear, cît şi a cheltuielilor pentru construcţia de centrale şi pentru nevoile de exploatare.

În întreaga lume experienţa construcţiei de centrale atomice mai puternice a arătat că în cazul centralelor atomice reducerea costului pe kilowatt-oră depinde într-o măsură mai mare de creşterea puterii centralei decît în cazul centralelor termice clasice. Vom cita unele date privind creşterea competitivităţii centralelor atomoelectrice din S.U.A. în funcţie de puterea lor. O centrală cu o putere de 190 de megawaţi poate rivaliza cu centralele electrice termice dacă preţul combustibilului clasic re-

[1] Vezi J. James, A. Lane, *Economics of nuclear power*, în „Annual Review of Nuclear Science“, Palo Alto (California), 1966, v. 16, p. 335.

vine la 1,96 dolari de calorie. În cazul unei centrale de 300 de megawaţi, cifra respectivă scade la 1,67 dolari. O centrală atomică cu o putere de 800 de megawaţi va face cu succes concurenţă unei centrale termice chiar dacă preţul combustibilului la aceasta din urmă nu depăşeşte 0,80—0,96 dolari de calorie, iar o centrală de 1 000 de megawaţi — chiar dacă costul pe calorie coboară la 0,52—0,80 dolari [1].

Compararea investiţiilor specifice, a cheltuielilor pentru combustibil şi pentru reparaţii la centralele atomice (care vor intra în funcţiune în 1970) şi la cele clasice arată că toate aceste cheltuieli se reduc la centralele atomice într-un ritm mai rapid decît la cele termice.

Centralele atomice cu o putere de 200 de megawaţi pot rivaliza cu cele termice dacă preţul cărbunelui revine la 0,992 dolari de calorie, centralele de 400 de megawaţi — dacă preţul pe calorie revine la 0,896 dolari, centralele de 600 de megawaţi — dacă o calorie revine la 0,852 dolari, centralele de 800 de megawaţi — dacă o calorie revine la 0,812 dolari, iar centralele de 1 000 de megawaţi — dacă o calorie revine la 0,768 dolari. Rezultă de aici că centralele atomice cu o putere de 300—400 de megawaţi pot face concurenţă centralelor pe bază de cărbune în regiunile unde cărbunele are preţul mediu pe ţară, iar centralele de 1 000 de megawaţi vor putea face concurenţă în 1985 centralelor pe bază de cărbune în toate regiunile, chiar şi acolo unde preţul cărbunelui este minim [2].

Pentru o prognoză este însă insuficientă o simplă comparaţie a cheltuielilor pentru producţia unui kilowatt-oră de energie electrică. Mai trebuie luaţi în considerare şi alţi factori. În primul rînd problema generală a epuizării resurselor clasice. Nu este nicidecum vorba de o perspectivă îndepărtată. Are loc o epuizare relativă, adică devin necesare operaţii de îmbogăţire, care impun în procesul de prospectare şi exploatare cheltuieli mai mari de muncă. Considerînd economia mondială în ansamblul ei, constatăm că petrolul şi gazele

[1] *Ibidem*, p. 362, tab. XIII.
[2] *Ibidem*, p. 363, tab. XIII.

ocupă în balanța energetică, începînd din 1963, un loc mai important decît combustibilul solid. În 1937 combustibilul solid deținea în această balanță 68,8%, combustibilul lichid 18,2%, gazele naturale 5,8% și energia hidraulică 7,2%. Între 1937 și 1963, consumul de resurse energetice a crescut de 2,5 ori. În acest interval, ponderea combustibilului solid în consumul de energie s-a redus pînă la 44,8%, a energiei hidraulice pînă la 6,4%, în timp ce ponderea combustibilului lichid s-a dublat, atingînd 32%, iar a gazelor naturale s-a triplat, ajungînd la 16,5% [1].

Este de fapt esențial că în centralele electrice sînt folosite drept combustibil petrolul și gazele.

Dar pentru toate aceste tipuri de resurse energetice problema epuizării se pune mai acut decît pentru cărbune.

Și în cazul uraniului problema devine acută dacă se menține procedeul care predomină astăzi, de folosire numai a unei fracțiuni de 1/140 din uraniu, respectiv a izotopului fisionabil, uraniul 235. În acest caz o centrală atomică consumă în decurs de 20 de ani 5,5 tone de uraniu la 1 megawatt de putere instalată [2].

Rezervele existente și rentabile de uraniu pot asigura în decurs de 20 de ani centrale atomice cu o putere totală ceva mai mare de 100 000 de megawați Dacă în 1980 centralele atomice vor atinge această putere totală, toate zăcămintele rentabile de uraniu cunoscute astăzi vor fi epuizate pînă la începutul secolului al XXI-lea. Or, de pe acum se proiectează pentru anul 1980 o putere de două și de trei ori mai mare a centralelor electrice, iar în următoarele două decenii, adică pînă în anul 2000, ea va crește încă de 15—20 de ori. De aceea prognozele prevăd o reorganizare radicală a energeticii atomice, trecerea în ultimele două decenii ale secolului la reactori reproducători ca tip predominant de instalații

[1] Vezi J. Leclerc and M. van Meerbeck, *Nuclear energy a factor making for greater dependability of energy supplies*, în „Euratom", Bruxelles, 1967, v. VI, N. 1, p. 12, fig. 2.

[2] Vezi E. O. Genzsch, *Dampf-, Wasser- und Atomkraft*, în „Maschine und Werkzeug", Coburg (Bayern), 1967, Heft 8, S. 28.

pentru producţia de energie atomică. În acest caz rezervele existente de uraniu echivalează cu 4 milioane de miliarde de tone de combustibil convenţional, iar rezervele de toriu sînt şi mai mari [1].

În felul acesta, perspectivele energeticii atomice ilustrează o trăsătură caracteristică a secolului atomic : prognozele economice depind nu numai de tendinţele tehnice propriu-zise (adică de eventuala realizare prin efortul inginerilor a schemelor fizice existente), ci şi de transformări mai generale, mai radicale, care implică modificarea schemelor fizice iniţiale, a canoanelor fizice directoare ale progresului tehnic.

Pentru a evalua efectul unor asemenea prefaceri radicale, trebuie să trasăm „traiectoriile" probabile ale progresului tehnic şi economic cu ajutorul unui procedeu analog celui folosit de fizicieni cînd determină tipul particulelor nou generate, după forma şi lungimea taiectoriilor acestora. Tocmai de aceea prognozele tehnice şi economice (care reprezintă asemenea „traiectorii") devin o parte esenţială a analizei situaţiilor actuale. Ne lovim de aceeaşi situaţie paradoxală : nu numai că, pentru a determina viitorul, pornim de la prezent, dar şi invers, pentru a determina prezentul, pornim de la viitorul previzibil (de altfel previzibil cu o nedeterminare destul de mare). Este o realitate fundamentală că în secolul nostru plin de dinamism a determina din punct de vedere economic o tendinţă actuală înseamnă a determina, în afară de alte elemente, efectul ei accelerator, respectiv nu numai evoluţia productivităţii muncii, a structurii producţiei etc., ci şi evoluţia derivatelor în raport cu timpul ale mărimilor care exprimă productivitatea şi structura.

Unul dintre procesele care se constată în prezent şi care determină sensul economic a ceea ce se petrece astăzi este schimbarea profundă a prognozelor atomoenergetice la sfîrşitul deceniului al VII-lea. De la prognoza făcută cu numai cîţiva ani în urmă, prevăzînd

[1] Vezi R. Gibrat, *L'énergie nucléaire dans le monde d'ici l'an 2000*, în „Revue de la Société Royale Belge des Ingénieurs et des Industriels", Bruxelles, 1967, nr. 3, p. 109.

abia pentru anul 1980 producerea unui kilowatt-oră mai ieftin în centralele atomice decît în centralele termice, s-a trecut în 1967 la o prognoză prevăzînd acest fapt pentru anul 1970 [1].

Prognoza pentru 1970 se deosebeşte principial de prognoza pentru 1980 prin exactitatea ei relativă ; costul unui kilowatt-oră în 1970 se evaluează pe baza unor date de proiect foarte apropiate de realizare.

Trecerea menţionată subliniază semnificaţia deosebirii dintre prognozele referitoare la puterea centralelor atomice în anul 2000 făcute la începutul anului 1966 şi cele făcute în anul 1966—1967. Subliniem : nu prognozele cantitative ca atare, ci diferenţa dintre ele. Tocmai ea ne interesează acum, deoarece vrem să descoperim în prognoze cotitura ce a intervenit în tendinţele reale ale zilei de astăzi. O asemenea cotitură s-a produs, şi realitatea ei poate fi într-adevăr constatată. Modificarea prognozelor pentru anul 2000 are la bază reducerea efectivă a costului unui kilowatt-oră la centralele atomice la sfîrşitul deceniului al şaptelea.

Dăm mai jos prognozele făcute de F. Fremont în anii 1966 şi 1967 [2] (în numitor apar cele din 1966, iar în numărător cele din 1967) :

	1970	*1975*	*1980*
Puterea totală a centralelor electrice din întreaga lume (în mii de megawaţi)	1118/1081	1578/1532	2207/2142
Puterea centralelor atomice	29,5/26	148/96	385/256
Ponderea centralelor atomice (în procente)	2,5/2,5	9,4/6,4	17,4/11,9

Să completăm aceste cifre cît se poate de elocvente cu o altă prognoză pentru anul 2000. După părerea lui

[1] Vezi A. Bescinski, I. Gleser, *Voprosî razvitiia energhetiki* (Sekţionnoe zasedanie mirovoi energheticeskoi Konferenţii v Tokio), în „Energohoziaistvo za rubejom", 1967, nr. 2.

[2] Vezi F. Fremont, în „Electrical World", 1966, v. 16, nr. 18, p. 63 ; 1967, v. 167, nr. 24, p. 109.

W. Webster, puterea totală a centralelor electrice de pe glob se va ridica în anul 2000 la 5 500 000—7 500 000 de megawaţi, iar puterea centralelor atomoelectrice la 3 000 000—4 000 000 de megawaţi, atingînd circa jumătate sau ceva mai mult de jumătate din puterea totală a centralelor electrice [1].

Trebuie să menţionăm că 50% din putere înseamnă *mai mult* decît 50% din producţia de energie electrică, deoarece factorul de sarcină la centralele atomice depăşeşte factorul de sarcină la centralele termice [2].

În S.U.A. cotitura survenită în prognoze s-a manifestat între altele în revizuirea raportului prezentat în 1962 preşedintelui S.U.A. de către Comisia pentru energia atomică. Completarea la acest raport elaborată de comisie în 1967 constată că ritmul de creştere a centralelor atomice a depăşit previziunile din 1962 şi, ceea ce este şi mai important, datele privitoare la centralele în construcţie şi cele ce se proiectează justifică revizuirea prognozelor pe termen lung. De aici decurge necesitatea de a mări chiar începînd din 1968 capacitatea ramurilor de producţie care deservesc construcţia de centrale atomice.

În completarea elaborată în 1967, Comisia pentru energia atomică prevede că între 1965 şi 1980 consumul de energie va creşte cu 50%, şi că pînă în anul 2000 creşterea va fi de 250%. Consumul de energie electrică reprezintă astăzi 20% din totalul de energie consumată. În 1980 partea ei va creşte pînă la 30% şi în anul 2000 pînă la 50%. Participarea centralelor atomice la producţia de energie electrică a fost sub 1% în 1965 ; ea se va ridica la 23—30% în 1980 şi la 50% în anul 2000.

Prognoza fizico-tehnică — posibilitatea construirii de reactori-reproducători — ne permite să apreciem corect prognoza economică pe care o impune analiza previziunilor din 1967. Prognoza respectivă constă în

[1] Vezi William Webster, *The commercial future of nuclear power*, în „Atomic Energy Review“, 1966, nr. 4.

[2] Vezi James A. Lane, *Economics of nuclear power*, în „Annual Review of Nuclear Science“, Palo Alto (California), 1956, v. 16, p. 349.

transformarea energeticii atomice la începutul secolului al XXI-lea în componenta precumpănitoare a balanței de energie electrică. Din perspectiva trecerii la reactori-reproducători rezultă că o asemenea transformare este o treaptă spre o precumpănire și mai considerabilă a energeticii atomice. Putem presupune că reactorii-reproducători vor asigura o preponderență tot mai mare a energeticii atomice pînă în momentul cînd folosirea reacțiilor termonucleare va suprima total problema limitării și epuizării resurselor de energie.

Să ne ocupăm de această treaptă superioară a energeticii atomice. Ea încă nu poate oferi o bază pentru prognoze cu gradul de determinare caracteristic energeticii atomice bazate pe fisiunea nucleelor grele. Reîntîlnim corelația cunoscută : cu cît este mai radicală transformarea prevăzută a tehnicii și a economiei, cu atît este mai nedeterminată prognoza ca atare în sensul căilor și termenelor concrete. Energetica termonucleară promite o transformare mai profundă a energeticii și o mai puternică „acțiune de rezonanță" asupra energeticii clasice, asupra caracterului muncii și asupra tehnologiei decît fisiunea nucleelor grele. Este vorba aici de o nouă schemă fizică de principiu, care se deosebește mai mult de toate căile de folosire a elementelor grele decît se deosebesc aceste căi una de alta. Energetica termonucleară, care folosește o parte aproximativ de 10 ori mai mare din energia internă a particulelor decît energetica atomică la care ne-am referit pînă acum, nu se bazează pe fisiunea nucleelor grele de uraniu și plutoniu, ci pe fuziunea nucleelor celor mai ușoare elemente. Am mai spus că în prima parte a tabelului periodic al lui Mendeleev defectul de masă (pus în legătură cu împachetarea compactă a particulelor nucleare) crește rapid. Nucleul atomului de hidrogen, care constă dintr-o singură particulă, un proton, nu are, bineînțeles, un defect de masă, dar toate nucleele mai grele, care conțin două, trei sau mai multe particule, posedă acest defect de masă. De aceea fuziunea nucleelor ușoare care formează nuclee ceva mai grele degajează energie. Tocmai o asemenea reacție întreține energia stelelor. Stelele trimit energie în spațiu, dar această pierdere de

energie se compensează prin fuziunea nucleelor ușoare de hidrogen.

Cel mai mare interes îl prezintă următoarea reacție concretă de fuziune. Nucleele de deuteriu, izotop al hidrogenului, la care ne-am mai referit, cuprind, în afară de proton, și un neutron și deci constau fiecare din două particule nucleare. Există și un izotop al hidrogenului cu trei particule nucleare în fiecare nucleu — un proton și doi neutroni. El se numește *tritiu*. Defectul de masă la o particulă, adică defectul de masă specific este la tritiu ceva mai mare decît la deuteriu. Dacă un nucleu de deuteriu (un proton și un neutron) se întîlnește cu un alt nucleu de deuteriu (încă un proton și încă un neutron) se poate forma un nucleu de tritiu (un proton și doi neutroni) și un nucleu de hidrogen obișnuit (un proton). Se poate ajunge și la un alt rezultat. Fuziunea a două nuclee de deuteriu dă un nucleu de izotop al heliului cu trei particule — doi protoni și un neutron —, lăsînd și un neutron liber.

Dar pentru ca nucleele să fuzioneze ele trebuie să se apropie unul de altul la o distanță de ordinul dimensiunilor lor nucleare. Or, nucleele (în cazul pe care-l descriem, nucleele de deuteriu), avînd sarcini electrice de același semn, se resping. Această respingere poate fi învinsă dacă nucleele dispun de o energie cinetică suficient de mare, corespunzătoare temperaturii de cîteva zeci de milioane de grade. Tocmai de aceea reacțiile de sinteză a nucleelor ușoare se numesc termonucleare. Cînd explodează o bombă cu hidrogen, explozia de amorsare a plutoniului sau a uraniului 235 creează temperatura necesară pentru ca să înceapă reacția termonucleară. Cea mai radicală revoluție energetică pe care o putem imagina pornind de la principiile fizice pe care le cunoaștem astăzi constă în folosirea unei reacții termonucleare dirijate.

Sinteza nucleelor de heliu din nuclee de deuteriu se realizează în mod intens la o temperatură de cîteva milioane de grade, iar pentru ca această fuziune să furnizeze cantități practic apreciabile de energie sînt necesare temperaturi de cîteva sute de milioane de grade. La asemenea temperaturi orice substanță se transformă

în plasmă, un ansamblu de atomi care şi-au pierdut învelişurile electronice şi electroni desprinşi din atomi. Cînd temperatura ajunge la cîteva mii de grade începe desprinderea electronilor din învelişurile atomice exterioare. Aceşti electroni echilibrează într-un atom neutru sarcina pozitivă a nucleului. Atunci cînd ei se desprind, atomul se ionizează, se transformă în ion. Pe măsură ce temperatura continuă să crească, numărul de ioni şi electroni se măreşte, iar cel de atomi neutri scade. La temperatura de 20 000 — 30 000 de grade, în plasmă aproape că nu mai rămîn atomi neutri. Creşterea în continuare a temperaturii face să se desprindă din atomi straturi de electroni tot mai adînci şi mai strîns legaţi de nucleu. Atomii elementelor grele, care cuprind zeci şi chiar sute de electroni, se ionizează în întregime atunci cînd temperatura se ridică la milioane şi zeci de milioane de grade.

Reacţiile termonucleare au loc în plasmă, de pildă în stele, care reprezintă nişte formaţii de plasmă. Cînd vorbim însă despre instalaţii de laborator sau industriale, este evident că plasma trebuie cuprinsă într-un recipient. Aici apare o dificultate esenţială. Pe vremuri, în Europa medievală se purta o dispută scolastică despre o substanţă capabilă să le dizolve pe toate celelalte. În ce ar fi putut fi păstrată o asemenea substanţă, din moment ce avea să dizolve orice vas ? O problemă analogă, deşi de loc scolastică, se ridică atunci cînd vorbim de plasmă. Orice recipient în care se află plasma se va evapora şi chiar se va transforma la rîndul său într-un amestec de atomi ionizaţi şi electroni. Calea spre depăşirea acestei dificultăţi constă în următoarele. Dacă liniile de forţă ale unui cîmp magnetic înconjoară plasma din toate părţile, ea, aflîndu-se în vid, nu se va împrăştia, nu se va apropia de pereţii vasului, ci se va concentra într-un spaţiu limitat, înconjurat de vid. Atunci cînd un curent electric trece prin plasma cuprinsă într-un tub vidat, cîmpul magnetic al curentului ţine în loc plasma, nepermiţîndu-i să atingă pereţii tubului, în care se formează un şnur subţire de plasmă. Se poate realiza termoizolarea plasmei cu ajutorul unor cîmpuri magnetice exterioare nelegate de

un curent care trece prin plasmă. Din păcate şnurul de plasmă menţionat este instabil, se deformează şi în cîteva milionimi de secundă îşi schimbă forma, atingînd pereţii tubului. Din păcate un chiag de plasmă prins într-o capcană creată de cîmpuri magnetice exterioare se dovedeşte a fi instabil.

Principala problemă ce se ridică în calea energeticii termonucleare constă în a forţa plasma concentrată şi strînsă între cîmpuri magnetice să rămînă în această stare cel puţin o fracţiune de secundă. Deocamdată s-a reuşit să se păstreze doar o plasmă foarte rarefiată, la o temperatură de cîteva zeci de milioane de grade, într-o capcană magnetică timp de o sutime de secundă. Acest rezultat are o importanţă principială. El face să fie foarte probabilă realizarea schemei reacţiilor termonucleare în următoarele decenii. Desigur, nu putem prevedea pentru sfîrşitul secolului al XX-lea transformarea balanţei energetice pe baza energeticii termonucleare, dar putem emite o asemenea prognoză pentru prima jumătate a secolului al XXI-lea. Această prognoză nu influenţează alegerea căilor politicii tehnice în zilele noastre ; ea influenţează însă alegerea căilor de experiementare ştiinţifică. Asupra acestei probleme este cazul să ne oprim.

În general vorbind, rezultatul unei experienţe nu este dinainte cunoscut de către cercetător. Dacă acesta l-ar cunoaşte cu certitudine (sau, cum se mai poate spune, cu o probabilitate egală cu 1), experienţa nu şi-ar avea rostul. În acest sens a avut dreptate A. Baikov [1], care, întrebat despre rezultatele aşteptate ale unei experienţe, a răspuns : „În ştiinţă au valoare numai rezultatele neaşteptate". Pe de altă parte, atunci cînd ştim sigur că un anumit rezultat nu poate fi obţinut, deci cînd probabilitatea este egală cu zero, experienţa îşi pierde sensul : o asemenea probabilitate egală cu zero este echivalentă cu un răspuns negativ cert.

Orientarea eforturilor şi a mijloacelor în activitatea experimentală este determinată de probabilitatea unui

[1] A. A. Baikov (1870—1946), om de ştiinţă sovietic, specialist în metalurgie *(N.T.)*.

anumit rezultat, de efectul probabil al acestuia. Dar nu numai de aceasta. Există „o acţiune de rezonanţă" a experienţei însăşi, oricare ar fi rezultatul ei, independent de acest rezultat. În funcţie de originalitatea metodelor de cercetare, de „perfecţiunea interioară" cerută de Einstein, de concepţiile iniţiale care se verifică în procesul experienţelor, de caracterul general al problemei care urmează să fie rezolvată, experienţa poate exercita o acţiune mai mult sau mai puţin importantă asupra unor domenii învecinate sau a altora mai îndepărtate ale cercetării şi ale practicii. O asemenea acţiune poate fi ilustrată prin exemplul energeticii clasice şi al evoluţiei ei previzibile în următoarele decenii.

Ar fi greşit să considerăm că acţiunea exercitată de energetica atomică asupra celei clasice se reduce la eliminarea acesteia din urmă. Paralel cu această eliminare şi, parţial, în opoziţie cu ea, are loc un alt proces, mai complex. Efectul de rezonanţă al energeticii atomice duce la o intensificare a tendinţelor proprii, imanente, ale altor domenii. În cazul de faţă e vorba de faptul că energetica atomică accelerează rezolvarea problemelor proprii ale energeticii clasice, finalizarea tendinţelor proprii ale acesteia.

Este probabil că activitatea de căutare a unor cicluri clasice noi cu randament superior este stimulată de perspectiva reducerii costului unui kilowatt-oră la centralele atomice. Dar nu în aceasta constă principala influenţă exercitată de energetica atomică asupra gîndirii ştiinţifico-tehnice şi economice privind energetica clasică. Energetica atomică nu numai că impulsionează — sub ameninţarea eliminării — creşterea randamentului instalaţiilor energeticii clasice, dar îi şi furnizează unele scheme fizice şi tehnice. Ele sînt enunţate sub formă de prognoze ; schemele fizice şi tehnice încă nu au căpătat în unele cazuri o materializare practică, dar exercită deja o acţiune stimulatoare asupra energeticii clasice. Într-adevăr, o linie de dezvoltare deosebit de importantă pentru energetica clasică — obţinerea directă a energiei curentului electric din energia termică a gazelor — foloseşte plasma care (e drept,

la cu totul alte temperaturi) reprezintă arena reacţiilor termonucleare.

Transformarea directă a energiei termice a gazelor în energia curentului electric se bazează pe următoarea schemă.

Poziţia de pornire este un gaz încălzit la o temperatură relativ înaltă, ionizat, şi care constă într-o anumită măsură (cît mai mare) din atomi care şi-au pierdut electronii exteriori, precum şi din aceşti electroni desprinşi. Cu alte cuvinte e vorba de plasmă. Dar nu de o plasmă aflată la temperaturi înalte egale cu temperatura substanţei stelelor, ci de o plasmă cu o temperatură mică, care se ridică nu la milioane, ci numai la mii de grade. La o asemenea temperatură, ionizarea gazului şi conductibilitatea lui electrică sînt mici. De aceea în gaz se introduc vaporii unor metale ai căror atomi îşi pierd uşor electronii exteriori. Numai în felul acesta putem obţine un jet de plasmă ionizat într-un grad destul de mare şi bun conducător de electricitate. El se scurge în vid printr-o duză. În continuare jetul trece printr-un cîmp magnetic, străbătînd liniile lui de forţă. După cum se ştie, într-un conductor care taie liniile de forţă ale cîmpului magnetic apare un cîmp electric. Într-adevăr, în cazul de faţă este generat în plasmă un curent electric. Gazul ionizat ţine locul bobinajului unui rotor dintr-un generator obişnuit, bobinaj în care, atunci cînd rotorul se învîrteşte, se induce un curent electric. Acest curent se închide prin electrozi legaţi de circuitul exterior. Electrozii corespund periilor care culeg curentul de pe bobinajul rotorului într-un generator obişnuit.

Un asemenea dispozitiv — un generator magnetohidrodinamic — poate funcţiona fiind alimentat de surse clasice de energie, dar poate folosi, de asemenea, energia unui reactor atomic. Amestecul de gaze (de pildă heliu, la care se adaugă vapori uşor ionizabili de cesiu) serveşte ca agent de răcire, care preia energia termică a reactorului. Transformarea parţială a acestei energii, mulţumită unui generator magnetohidrodinamic, în energia cinetică a unui jet fierbinte,

apoi în energia curentului electric, transformă reactorul într-o centrală atomoelectrică.

Pentru o asemenea îmbinare a reactorului cu un generator magnetohidrodinamic, reactorul trebuie să funcționeze la temperaturi înalte : un gaz cu o temperatură insuficient de înaltă nu va asigura un randament înalt al generatorului magnetohidrodinamic. În felul acesta vedem nu numai efectul energeticii atomice asupra alegerii căilor în energetica clasică, dar și acțiunea inversă. Energetica atomică furnizează energeticii clasice stimulenți economici. Plata pentru intrarea în era atomică este reducerea consumurilor specifice la un kilowatt-oră, iar drept normative servesc consumurile specifice ale centralelor atomice. Afară de aceasta, energetica atomică furnizează energeticii clasice unele rezultate esențiale ale cercetării plasmei, cu corectivele pe care le impune trecerea de la plasma de temperatură înaltă la plasma de temperatură joasă. (Firește, aceasta nu se referă la problemele principale : crearea de capcane magnetice și realizarea stabilității plasmei comprimate nu sînt cu putință în cazul plasmei de temperatură joasă).

La rîndul ei, energetica clasică promite centralelor atomice o „componentă clasică“ mai economicoasă, adică o schemă de folosire a căldurii reactorului nuclear, a transformării lui în energia unui curent electric.

4
Electronica cuantică

Să examinăm unele tendinţe ştiinţifico-tehnice care impun o anumită dezvoltare şi precizare a caracterizării date mai sus celei de-a doua jumătăţi a secolului al XX-lea. Energetica atomică este legată în modul cel mai strîns de teoria relativităţii şi constituie ea singură o justificare suficientă pentru ca noua civilizaţie care se dezvoltă sub ochii noştri să fie denumită „civilizaţia relativistă". Cealaltă direcţie fundamentală a gîndirii ştiinţifice contemporane — fizica cuantică — este, de asemenea, legată de energetica atomică. Procesele care duc la fisiunea şi fuziunea nucleelor pot fi înţelese numai pe baza noţiunilor cuantice. O legătură tot atît de strînsă — şi poate şi mai evidentă — leagă fizica cuantică de rezonanţele energeticii atomice. Electronica cuantică este direcţia determinantă a previziunilor referitoare la transformarea tehnicii industriale şi a comunicaţiilor în cadrul prognozelor pentru anul 2000. După cum s-a mai spus în capitolul introductiv, această dată convenţională reflectă existenţa unui anumit complex de previziuni din domeniul ştiinţei economiei şi culturii legate între ele. Pentru energetică o asemenea

previziune constă în transformarea centralelor atomice în componenta principală a balanței energetice. Pentru tehnica industrială şi pentru comunicații, complexul general prevăzut pentru anul 2000 porneşte de la transformarea electronicii în principala bază a reorganizării acestor ramuri. Această prognoză nu se bazează numai pe tendințele fizicii teoretice. Ea se sprijină şi pe noile posibilități care vor apărea pentru experimentul fizic în deceniile VIII-IX ale secolului nostru.

Tocmai de pe aceste poziții vom aborda electronica cuantică, reamintind însă în prealabil unele noțiuni de fizică cuantică.

După ce Maxwell a identificat lumina cu oscilațiile electromagnetice, au fost descoperite radiații cu diferite frecvențe. Radiațiile cu frecvența cea mai mică sînt folosite pentru transmiterea semnalelor radio. O frecvență considerabil mai mare (şi respectiv o lungime de undă mai mică) caracterizează razele termice, infraroşii ; o frecvență şi mai mare au razele vizibile, lumina în sensul mai îngust al cuvîntului, care cuprinde domeniul care se întinde de la razele violete, cu cea mai mare frecvență, pînă la cele roşii, cu frecvența cea mai mică din partea vizibilă a spectrului. Radiațiile cu o frecvență mai mare decît cea a luminii violete nu mai sînt percepute de ochi. Ele poartă denumirea de radiații ultraviolete. Radiațiile Röntgen posedă o lungime de undă şi mai mică şi o frecvență şi mai mare. Radiația electromagnetică cu cea mai înaltă frecvență o reprezintă razele gamma, pe care le emit, între altele, nucleele de atomi în cursul unor anumite reacții nucleare.

În anul 1900 Planck a descoperit că substanța emite unde electromagnetice în anumite „porții" minime, discrete. Energia radiației nu poate creşte cu cantități oricît de mici, ea este întotdeauna un multiplu de „porții" minime, care au căpătat denumirea de cuante. Dar lui Planck nici prin gînd nu-i trecea că orice cîmp electromagnetic constă în particule discrete ; el a formulat doar presupunerea că acest cîmp este emis în cuante, doze minime care nu mai sînt divizibile, şi că undele electromagnetice sînt absorbite de asemenea

în astfel de doze. De aici nu urmează însă concluzia că şi cîmpul electromagnetic în sine constă din particule indivizibile. După cum a scris Philippe Frank, „dacă berea se vinde totdeauna în sticle care conţin un ţap, de aici încă nu urmează concluzia că berea din butoi este alcătuită din părţi indivizibile egale cu cîte un ţap“ [1]. Ipoteza cît se poate de paradoxală privind natura discretă a cîmpului electromagnetic însuşi a fost emisă de Einstein în 1905. În fond, această ipoteză cuprindea deja în germene ideea cea mai paradoxală a fizicii moderne : lumina, deşi constituită din unde ale unui mediu continuu, fapt dovedit de interferenţă (dispariţia luminii în punctele unde crestele undelor unei raze se suprapun peste văile unei alte raze şi intensificarea luminii în punctele unde crestele unei raze se suprapun peste crestele unei alte raze), se prezintă totuşi în acelaşi timp ca o multitudine de particule discrete. Einstein a denumit aceste particule cuante de lumină, iar mai tîrziu ele au căpătat denumirea de fotoni. Dacă trecem de la imaginea corpusculară a fotonilor la imaginea continuă a oscilaţiilor electromagnetice, energia unui foton se află în corespondenţă cu frecvenţa oscilaţiilor, îi este proporţională.

În dezvoltarea ei, teoria cuantică a luminii s-a întîlnit cu teoria atomului. În 1915, Bohr a conceput acel model al atomului în care în jurul nucleului se rotesc electroni în aşa fel încît atunci cînd ei trec de pe o orbită pe alta atomul emite unde electromagnetice de o anumită frecvenţă sau, altfel vorbind, fotoni de o anumită energie.

Orbitei celei mai apropiate de nucleu îi corespunde energia cea mai mică, iar orbitelor din ce în ce mai îndepărtate le corespund energii tot mai mari ale atomului. Cînd atomul absoarbe lumină (se includ în această noţiune atît lumina vizibilă, cît şi radiaţiile electromagnetice de alte tipuri), electronii trec pe orbite cu o energie mai mare, aşa încît energia atomului creşte pe seama fotonilor absorbiţi. Atunci cînd atomul emite fotoni, electronii trec pe orbite cu o energie mai

[1] Ph. Frank, *Einstein*, New York, 1947, p. 72.

mică, iar energia atomului scade. După energia radiației, respectiv după frecvența ei, putem să ne facem o ideee despre ceea ce se petrece în atom. Frecvențele radiației formează spectrul de emisie.

La începutul secolului nostru au fost acumulate foarte multe date despre spectrele radiației atomilor diferitelor elemente. În 1913 Bohr a cuprins întreaga multitudine de observații într-un tablou unic al radiației discrete a atomilor. Ideea nivelelor discrete ale energiei și respectiv a ierarhiei discrete a orbitelor, care permit numai salturi de pe o orbită pe alta, a putut fi emisă numai pe baza unei intuiții geniale. Așa și este apreciat modelul lui Bohr în însemnările autobiografice ale lui Einstein. Cuantificarea orbitelor, adică stabilirea unor orbite discrete „permise" și a unor nivele energetice discrete corespunzătoare nu putea fi dedusă dintr-un principiu mai general. „Mi s-a părut întotdeauna un miracol — scrie Einstein — că această temelie șubredă și contradictorie a fost suficientă pentru a-i permite lui Bohr — acest om înzestrat cu o intuiție genială și cu un fler extrem de fin — să găsească legile cele mai importante ale liniilor spectrale și ale învelișurilor electronice ale electronilor și să-și dea seama de importanța lor pentru chimie. Chiar astăzi aceasta continuă să mi se pară un miracol. Este suprema muzicalitate în domeniul gîndirii" [1].

În deceniul al treilea al secolului nostru, caracterul discret al nivelelor de energie ale atomului și al orbitelor electronice a fost riguros fundamentat. După ce Einstein a descoperit în 1915 proprietățile corpusculare ale cîmpului electromagnetic, în anii 1923—1924 Louis de Broglie a ajuns la ideea proprietăților ondulatorii ale particulelor, și în primul rînd ale electronilor. Ceva mai tîrziu, în 1926, Schrödinger a propus o ecuație în care o anumită mărime — funcția de undă — variază continuu, trecînd de la un punct al spațiului la altul și de la un moment la alt moment, așa cum se schimbă de la un punct la altul și de la un

[1] A. Einstein, *Opere științifice complete*, vol. IV, Moscova, p. 275.

moment la altul nivelul apelor în marea agitată, densitatea aerului în procesul de propagare a sunetului sau intensitatea cîmpului electromagnetic. Dar ecuaţia lui Schrödinger nu exprimă propagarea deplasărilor sau deformărilor într-un mediu oarecare. Ea exprimă mişcarea electronului sau a unei alte particule. Ce semnificaţie are însă funcţia de undă, mărime continuă, dacă examinăm imaginea corpusculară a particulelor în mişcare ? Răspunsul la această întrebare a fost dat de Max Born. El consideră funcţia de undă drept măsura probabilităţii prezenţei unui electron într-un punct dat la un moment dat. Această mărime oscilează, şi pentru fiecare punct şi moment obţinem, cu ajutorul ecuaţiei lui Schrödinger, o valoare a amplitudinii oscilaţiilor. După această amplitudine ne putem da seama de probabilitatea ca un electron să se afle într-un anumit punct în momentul pentru care s-a calculat amplitudinea.

Fără îndoială, aceasta înseamnă revoluţia cea mai radicală în caracterul gîndirii fizice. În ştiinţa clasică natura era considerată supusă unui sistem de legi exacte care determină în mod univoc poziţia fiecărei particule în orice moment. Idealul cercetării ştiinţifice consta în rigoarea maximă a reflectării unor asemenea localizări univoce a particulelor în spaţiu-timp. Prezumpţia ştiinţei clasice constă în posibilitatea unei apropieri oricît de mari de valorile obiective exacte ale coordonatelor particulei şi ale impulsului ei în orice moment. Iată însă că s-a ajuns la concluzia că natura exclude o determinare univocă a localizărilor spaţio-temporale şi a impulsurilor particulelor. Idealul nu constă în determinarea exactă a locului particulei şi a variabilelor ei dinamice în ansamblu, ci doar în determinarea probabilităţii acestor variabile dinamice. Aspiraţia spre idealul clasic a condus ştiinţa spre noi reprezentări şi s-a materializat în aplicaţii practice care au devenit la rîndul lor forţa motrice a progresului ştiinţific. Acum aspiraţia spre idealul neclasic conduce ştiinţa spre noi reprezentări despre spaţiu, timp, mişcare, substanţă, evoluţia universului şi evoluţia vieţii. Aceste reprezentări îşi găsesc întru-

chiparea în noi verigi ale progresului tehnic care devin impulsuri inițiale pentru dezvoltarea în continuare a științei.

Să ne referim la exemplul următor. În fizica nucleară apare o situație în care particula, pentru a se apropia de nucleul atomului, trebuie să învingă o puternică forță de respingere, trebuie să depășească o barieră de potențial mai mare decît energia ei cinetică. Lucrul acesta este tot atît de imposibil cum este imposibil pentru o bilă care s-a rostogolit de pe un deal să urce pe culmea unui deal mai înalt și s-o depășească. Așa ceva este cu neputință din punct de vedere clasic. În fizica cuantică e vorba despre probabilități, iar imposibilitatea se dovedește a fi o mică probabilitate a pătrunderii particulei în nucleul atomului. Dar atunci cînd nucleul este bombardat de un număr mare de particule, asemenea pătrunderi de mică probabilitate vor avea totuși loc și vor declanșa reacții nucleare de o importanță deosebită pentru tehnica modernă, neclasică.

Ceva analog se petrece și în alte domenii. Procese aplicabile din punct de vedere tehnic (și cu atît mai mult procese care în principiu — deocamdată într-un mod nedeterminat — pot deveni aplicabile în viitor) nu pot fi găsite dacă nu trecem la reprezentări cuantice, neclasice.

În deceniul al cincilea radiotehnica s-a trezit în fața unor probleme care nu puteau fi rezolvate fără reprezentări cuantice. În aparatele de radio obișnuite recepția este îngreuiată de schimbarea frecvenței, de „suprapunerea" unui post peste altul, în general de faptul că „spectrul" aparatului de emisie este larg, adică gama de frecvențe este foarte mare.

Multe aplicații ale radiotehnicii (printre care cele mai de perspectivă, care se vor dezvolta în viitor) cer ca intervalul de frecvențe ale oscilațiilor electromagnetice în timpul transmisiei să fie cît mai restrîns, pentru ca posturile de radio să nu se bruieze reciproc atunci cînd emit concomitent. În spectroscopie există noțiunea de lumină monocromatică cu un spectru foarte îngust. În prezent noțiunile din domeniul spectrosco-

piei au pătruns în radiofizică. S-a ajuns la concluzia că în procesul de elaborare a noilor metode de obținere a unor oscilații net monocromatice și de o frecvență stabilă trebuie folosite noțiunile fizicii cuantice. Realitatea este că intervalele mari de frecvențe se explică prin caracterul macroscopic al posturilor emițătoare. Acest caracter macroscopic al radiotehnicii estompează caracterul discret al radiației, lasă în umbră existența cuantelor cîmpului electromagnetic. În deceniul al șaselea s-a ajuns să se emită niște semnale foarte slabe, care reprezintă unde cu o mare sensibilitate a frecvenței și cu o dispersare foarte mică a frecvențelor. Cu timpul ele au putut fi intensificate. Dar teoria acestor semnale a depășit în măsură considerabilă cadrul fizicii clasice. Au depășit acest cadru teoria și noile principii de generare ale *radiației coerente*, care are în fiecare moment nu numai una și aceeași frecvență, ci și aceeași fază.

Cheia pentru obținerea radiației monocromatice și coerente au reprezentat-o dispozitivele create la jumătatea deceniului al șaselea, bazate pe tranziții ale sistemelor atomice de la unele nivele energetice la altele, tranziții stimulate de fotoni. Teoria acestor tranziții este teoria cuantică. Ea decurge din modelul lui Bohr ; cît despre tranzițiile înseși, ele au fost prezise de Einstein. E vorba de așa-numita *emisie stimulată*. În anul 1916 Einstein a publicat un studiu intitulat *Emisia și absorbția radiației conform teoriei cuantice* [1]. În acest studiu se vorbește despre un sistem cuantic, adică despre un sistem de particule care emite și absoarbe cuante de radiație, modificîndu-și structura. Ca exemplu concret de sistem cuantic poate fi luat un atom care constă dintr-un nucleu și un număr de electroni și care posedă două nivele de energie. Ne putem reprezenta aceste nivele ca două orbite electronice, dintre care una este mai apropiată de nucleu (nivelul inferior), iar cealaltă mai depărtată (nivelul superior). Se înțelege că în loc de atom am putea lua și o moleculă, care în cazul unei configurații a atomilor are o energie,

[1] *Verhandl. Dtsch Phys. Ges.*, 1916, 18, pp. 318—323.

iar în cazul unei alte configuraţii o energie mai mică. Noi însă vom considera deocamdată ca exemplu nu radiaţia unei molecule, ci radiaţia unui atom.

Tranziţiile electronilor de pe un nivel pe altul pot fi spontane, dar pot fi provocate şi de acţiunea radiaţiei, a unui flux de fotoni. Există două tipuri de interacţiune între atom şi radiaţie. Într-un caz fotonul este pur şi simplu absorbit de atom, pe cînd în celălalt atomul emite un foton. În 1927 Dirac a observat că noul foton nu se deosebeşte de cel vechi, avînd aceeaşi energie şi aceeaşi direcţie. Dacă la nivelul superior se află un număr mare de electroni, ei vor trece cu toţii, simultan, pe nivelul inferior, iar atomul va emite fotoni cu aceeaşi energie şi cu aceeaşi direcţie, dar aceşti fotoni vor fi în număr mai mare decît în radiaţia incidentă. În felul acesta se creează posibilitatea intensificării radiaţiei pe baza emisiei stimulate a sistemelor cuantice. O asemenea posibilitate este realizată în lasere (denumirea de laser este o abreviere formată de iniţialele denumirii engleze a acestui efect : *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* — intensificarea luminii prin stimularea emisiei radiaţiei).

În ce constau particularităţile acestei raze de lumină intensificată printr-o radiaţie stimulată, indusă ? Ce ne face să vedem în ea crainicul unei noi epoci a progresului ştiinţific şi tehnic ?

În primul rînd e vorba de banda îngustă a frecvenţelor, de un grad înalt de monocromatism al radiaţiei. În al doilea rînd de *coerenţă* — faptul că radiaţia stimulată, indusă, a diverşilor atomi este acordată în aceeaşi fază. Laserul ne permite să obţinem o radiaţie monocromatică *intensă.* O altă proprietate a fasciculului de raze emis de laser este direcţionarea lui netă, faptul că raza de laser nu diverge sau, mai exact, diverge foarte puţin. Laserul poate da un fascicul de lumină foarte intens şi cu o direcţie bine determinată.

Sub aspectul pe care îl urmărim în această lucrare trebuie subliniat faptul că intensitatea radiaţiei de laser depinde de aplicarea unui nou principiu fizic. În laser e folosită nu numai energia radiaţiei primare, ci şi energia „pompată“ dinainte prin ridicarea parti-

culelor la nivele de o energie superioară. Constatăm și aici legătura dintre caracterul larg, general și „neclasic" al noilor scheme fizice ideale, pe de o parte, și accelerarea progresului științifico-tehnic, pe de altă parte.

Să vedem acum ce semnificație au particularitățile arătate ale razei de laser (lăsînd la o parte alte particularități, poate tot atît de importante) pentru folosirea laserelor. Vom căuta să diferențiem efectele acestei aplicări, în primul rînd pe cele privitoare la *accelerarea* progresului tehnic și, în al doilea rînd, pe cele privitoare la *creșterea accelerației* progresului tehnic, creștere nedeterminată, lipsită de expresie cantitativă.

Laserul poate să modifice radical sistemul de telecomunicații și de transmitere a informației. De mult timp are loc o trecere a radiocomunicațiilor de la undele lungi la unde tot mai scurte. Aceasta ne permite să transmitem, de exemplu, în același interval de frecvențe un număr mai mare de convorbiri telefonice, de comunicări radio, de programe de televiziune etc. Volumul informației transmise crește foarte repede atunci cînd trecem de la domeniul undelor centimetrice la undele mult mai scurte ale domeniului optic.

În viitor laserele vor putea face să crească considerabil efectul mașinilor de calcul și de comandă. Și în acest caz e vorba, în fond, tot de informație. Mașinile de calcul complexe pot funcționa mai eficient și mai rapid datorită vitezei de transmitere a unei informații de la un element al mașinii de calcul la altul cu ajutorul laserelor.

Una dintre tendințele cele mai importante ale progresului tehnic în ultima treime a secolului nostru va fi folosirea pe scară largă a laserului în tehnologia industrială. Metodele mecanice de prelucrare a metalelor și a altor materiale vor face loc în bună parte razelor de laser. Raza de laser, subțire, monocromatică și totodată intensă, permite reducerea dimensiunilor unor piese și asigurarea unei precizii a acestor dimensiuni de ordinul cîtorva microni. Electronica cuantică deschide, în afară de aceasta, posibilitatea unei regrupări

foarte profunde a moleculelor în rețetele cristaline și a atomilor în molecule. O asemenea regrupare permite crearea unor piese ultradure, a unor suprafețe ultradure. De aceea perfecționarea laserelor este sursa unei reconstrucții vaste, care va cuprinde toate domeniile principale ale tehnologiei. Electronica cuantică se află de-abia la primii pași ai materializării tehnice a acelei scheme fizice ideale care a decurs din ideea enunțată de Einstein în 1916 și a prins forme concrete la jumătatea secolului. Putem prevedea că în deceniile care au mai rămas pînă la sfîrșitul secolului vor apărea lasere care vor transforma energia celor mai diverse și dispersate surse în energie concentrată în fluxuri direcționate de unde electromagnetice coerente, de o intensitate oricît de mare. Va crește gama radiației de laser, vor fi create lasere care vor funcționa în domeniul infraroșu și ultraviolet. E posibil ca razele de laser, care vor atinge o mare intensitate, să înlocuiască în viitor firele metalice în domeniul transmiterii energiei electrice.

Să menționăm acum substanțiala retroacțiune a progresului tehnic asupra progresului științific care l-a determinat. Electronica cuantică demonstrează efectele deosebit de puternice și de mare perspectivă ale materializării tehnice a ideilor fizice asupra dezvoltării acestor idei înseși. Laserele pot deveni un mijloc eficient de experimentare pentru studiul unor probleme fundamentale. Faptul că pentru a trece de la echipamentele experimentale din domeniul electronicii cuantice la cele practic aplicabile nu trebuie străbătută decît o distanță foarte mică face să crească suma eforturilor materiale și intelectuale îndreptate de omenire spre acest domeniu. În ultimă instanță, aceasta ne apropie de rezolvarea problemelor fundamentale. Într-unul din capitolele următoare ale cărții de față, în cadrul analizei problemelor menționate, vom vedea că rezolvarea lor este legată de măsurarea tot mai riguroasă a intervalelor spațiale și temporale în domeniile spațio-temporale ultramicroscopice și cosmice.

Laserele fac cu putință măsurarea timpului și a spațiului cu o precizie extrem de mare. Nu este exclus ca asemenea măsurători să facă mai multă lumină în problema structurii universului și în procesele care au loc în celulele spațio-temporale ultramicroscopice (poate minime și chiar indivizibile).

Electronica cuantică este o parte a unei orientări mai generale în progresul științific contemporan. Știința contemporană studiază tot mai profund fluxurile de particule de diverse tipuri pe care le consideră ca niște cuante ale unor cîmpuri de diverse tipuri. Încă în 1905 s-a ajuns la concluzia că, de fapt, cîmpul electromagnetic reprezintă un flux de fotoni. După cum am mai spus, după douăzeci de ani de Broglie a descoperit că electronii, care sînt niște particule discrete, posedă proprietăți ondulatorii, iar unele legități ale comportării lor pot fi interpretate considerînd electronii drept concentrări ale oscilațiilor unui alt cîmp, care nu mai este electromagnetic. Aceste unde ale lui de Broglie interferează ca orice alte unde : dacă pe un ecran se suprapun crestele a două unde, intensitatea luminii crește, iar atunci cînd creasta unei unde se suprapune cu depresiunea unei alte unde, lumina dispare și asemenea puncte formează pe ecran o zonă de interferență obscură. Undele sînt supuse difracției, fenomen care constă în schimbarea frontului lor atunci cînd ele ocolesc marginile unui corp interpus sau în modificarea direcției inițiale atunci cînd trec printr-o fantă îngustă. Natura dublă, corpusculară și ondulatorie a electronului a fost folosită pentru crearea microscopului electronic, care ne permite să observăm o serie de detalii ale structurii și comportării substanței inaccesibile microscopului optic.

Ulterior a fost descoperit un mare număr de particule elementare de diverse tipuri în afară de cele pe care le-am întîlnit în această lucrare și, respectiv, un mare număr de cîmpuri ale căror concentrări constituie aceste particule. Tehnica modernă folosește fluxurile de particule de aceste tipuri în tehnologie

şi în medicină ; ele permit studierea nucleelor atomice, a atomilor, a moleculelor şi a celulelor ; astronomia şi astrofizica fac uz de radiaţiile obţinute cu ajutorul lor pentru a determina structura şi a urmări evoluţia stelelor, a galaxiilor şi a metagalaxiei.

Alături de folosirea reacţiilor nucleare în lanţ, putem considera extinderea cercetării şi aplicării practice a radiaţiilor puternice de diverse tipuri ca fiind o direcţie fundamentală a progresului ştiinţific şi tehnic al secolului atomic.

5
Biologia moleculară

În deceniile VI-VII ale secolului nostru, aproape paralel cu seria de descoperiri care au creat electronica cuantică s-a produs o revoluție radicală și în biologie. Acestei revoluții îi este proprie o particularitate caracteristică pentru a doua jumătate a secolului nostru. În știința clasică, o serie de descoperiri fundamentale succesive erau urmate, de obicei, de o perioadă relativ calmă de aprofundare a problemelor particulare pe baza noii concepții, a noilor noțiuni, a noilor metode experimentale. În epoca noastră, în acele domenii ale științei în care jumătatea secolului a adus schimbarea concepțiilor fundamentale, această schimbare a făcut să se ridice un număr mult mai mare de probleme noi decît al celor la care s-a obținut deja răspunsul. În secolul al XIX-lea exista speranța de a ajunge, aprofundînd natura lucrurilor, la stratul cel mai adînc, inițial, al edificiului cosmic. Această speranță nu a fost niciodată împărtășită de toți oamenii de știință, dar ea a existat. În a doua jumătate a secolului al XX-lea se pare că știința este nevoită să aban-

doneze pînă și speranța unui popas mai îndelungat în procesul de adîncire a cunoștințelor.

Tocmai faptul acesta imprimă științei contemporane stilul ei specific prospectiv. În trecut caracterizarea unei cotituri în știință se încadra în afirmațiile de acest tip : „acum am reușit să cunoaștem..." Și astăzi s-a mai păstrat această componentă a caracterizării, dar accentul s-a deplasat spre afirmațiile de tipul : „acum ne dăm seama ce trebuie să mai aflăm". Această deplasare a accentului este proprie și biologiei, iar în rubrica prospectivă „ce trebuie să mai aflăm" se înscrie problema cea mai generală, problema cardinală: „ce este viața ?" — alcătuită de mii de subprobleme concrete privind structura și comportarea diverselor organisme, țesuturi, celule și molecule. De această problemă cardinală sînt legate și o serie de chestiuni cu caracter aplicativ. O continuare și o concretizare a formulei „ce trebuie să mai aflăm ?" o constituie întrebările : „cum poate fi lichidat cancerul ?", „cum putem prelungi în mod substanțial, cu zeci de ani, longevitatea medie a oamenilor ?", „cum putem dirija ereditatea ?"

Pentru a aborda aceste probleme (respectiv prognozele în acest domeniu), trebuie să lămurim, ca și în capitolele precedente, unele noțiuni specifice. O vom face fără amănunte, în modul cel mai concis și cel mai succint. Lucrarea de față nu are pretenția să prezinte o sinteză a stării actuale a fizicii, chimiei și biologiei ; obiectul ei constă în încercarea de a răspunde la întrebarea : în ce sens se modifică reprezentările fundamentale despre natură și ce poate da omenirii modificarea lor ? Și întrucît aceasta este o problemă care îi interesează pe toți, încercarea trebuie făcută într-o formă populară, ceea ce, firește, ne obligă să ne limităm în expunerea noastră la un număr minim de noțiuni și de termeni specifici.

Legătura strînsă dintre construcțiile teoretice și datele experimentale speciale (inclusiv cele matematice și fizice), pe de o parte, și problema cardinală a esenței vieții, pe de altă parte, creează o apropiere între biologie și filozofia naturii. Dar aceasta numai

în ceea ce privește amploarea problemelor abordate, nu și în ceea ce privește caracterul cercetării. Biologia contemporană face legătura între concepțiile particulare și concepția generală, respectiv postulatele generale, realizînd în felul acesta „perfecțiunea interioară" a ideilor sale. Dar aceste postulate generale dispun și de o posibilitate directă sau mediată de verificare experimentală, așadar de criteriul „justificării exterioare". Aceasta se referă în primul rînd la întrebarea : care verigă din ierarhia părților discrete ale materiei posedă aptitudinea specifică de a reproduce substanța vie astfel încît ea să-și păstreze structura specifică ? Această verigă este reprezentată de niște molecule foarte mari, alcătuite din mai multe mii de atomi. Ele poartă numele de biopolimeri și macromolecule. Din punctul de vedere al componenței lor, ele sînt niște proteine (combinații de aminoacizi) și acizi nucleici. Există argumente foarte temeinice pentru a atribui acestor molecule funcția de autoreproducere. Teoria contemporană a eredității atribuie această funcție cromozomilor, formații ce se găsesc în nucleele celulelor. În structura cromozomilor este materializat „codul genetic", ceea ce înseamnă că ea determină structura și destinul celulelor ce rezultă din celula dată. Și dacă această celulă dată este o celulă mamă, cromozomii ei determină evoluția organismului. Această evoluție nu se reduce însă la creșterea organismului, așa cum se întîmplă, de pildă, cu cristalele.

Să ne oprim asupra expunerii ideilor despre moleculă ca purtător al codului genetic, prezentată de Erwin Schrödinger, la sfîrșitul deceniului al cincilea al secolului nostru [1].

Schrödinger compară molecula cu elementele care alcătuiesc corpul solid : cristalele. Moleculele din cristal și atomii din moleculă sînt legați prin forțe de aceeași natură. Schrödinger subliniază caracterul cuantic al acestor legături : e cu neputință să ni le imaginăm atîta vreme cît admitem continuitatea energiei și tre-

[1] E. Schrödinger, *Ce este viața din punctul de vedere al fizicii ?* Moscova, 1947.

cerea continuă de la o configurație de particule la o altă configurație posedînd o energie ce diferă de cea inițială cu o cantitate oricît de mică am vrea.

În continuare, Schrödinger vorbește despre felul cum se grupează moleculele pentru a forma cristale. Analog, structura moleculară se poate repeta și ea, cu o participare tot mai mare a particulelor, crescînd în trei direcții.

Filamentul cromozomic (formație în care este fixată informația despre caracterele ereditare) este însă rezultatul unei alte căi de dezvoltare. Molecula poate să se transforme într-un corp solid aperiodic, într-un cristal aperiodic. „O altă cale — scria Schrödinger, referindu-se la acest fenomen — este construirea unui agregat care crește din ce în ce mai mult fără plicticosul mecanism al repetiției. Este cazul moleculei organice tot mai complexe, în care fiecare atom, fiecare grup de atomi joacă un rol individual care nu este cu totul identic cu rolul celorlalți atomi și al celorlalte grupuri. Putem numi cu cea mai mare precizie această formație «cristal aperiodic» sau «corp solid aperiodic», exprimînd ipoteza noastră prin cuvintele : «...Un filament cromozomic întreg reprezintă un corp solid aperiodic»“ [1].

În continuare, Schrödinger explică de ce o particulă foarte mică poate să conțină o amplă informație cifrată, care determină evoluția organismului. Explicația constă în marele număr de combinații posibile chiar cînd numărul atomilor din moleculă este relativ mic. Tocmai de aceea molecula (cristalul aperiodic, în care sînt posibile cele mai diverse grupări ale acelorași atomi) poate determina în mod univoc o anumită variantă a evoluției organismului din imensul număr de variante posibile. „Un ansamblu bine ordonat de atomi, înzestrat cu o stabilitate suficientă pentru menținerea durabilă a ordonării respective, este singura structură materială imaginabilă în care varietatea combinațiilor posibile (a «izomerilor») este destul de mare pentru a

[1] *Ibidem*, p. 88.

include în sine un sistem complex de determinări în cadrul unui spaţiu minim" [1].

Schrödinger recurge la exemplul alfabetului Morse. Un punct şi o linie, doar două semne reunite în grupuri de cîte 2, 3 şi 4 semne formează 30 de combinaţii, 30 de litere. Trei semne diferite grupate cîte 10 ar da 30 000 de combinaţii, iar numărul de combinări a cinci semne diferite, grupate cîte 20, ar fi de 372 529 029 846 191 405.

Schrödinger subliniază cu tărie marea deosebire dintre molecula în care este fixat codul eredităţii şi ansamblul statistic al fizicii. Moleculele cromozomice „reprezintă treapta supremă a ordonării printre asociaţiile de atomi pe care le cunoaştem (treaptă mai înaltă decît a cristalelor periodice obişnuite), şi anume în virtutea rolului individual pe care îl joacă în acest caz fiecare atom şi fiecare radical" [2].

Sîntem foarte departe de fizica statistică, unde „rolul individual al fiecărui atom" este neglijabil şi unde ordonarea poate fi realizată numai atunci cînd în joc intră un număr imens de indivizi. Trebuie să menţionăm (ne vom referi la aceasta în ultimele capitole ale acestei lucrări) că „rolul individual al fiecărui atom" nu este exclus numai de fizica statistică. Rolul fiecărui individ este negat de orice concepţie statistică şi pentru a generaliza caracterizarea dată de Schrödinger este suficient să punem cuvîntul „atom" în ghilimele.

Schrödinger nu consideră că principiul „rolului individual al atomului" este un principiu nefizic. „Noul principiu este un principiu fizic autentic ; după părerea mea, el nu este altceva decît din nou principiul teoriei cuantelor" [3].

Consideraţiile expuse pornesc de la nişte postulate foarte generale, dar admit în principiu posibilitatea unei verificări experimentale. Această posibilitate a fost realizată în deceniile VI—VII ale secolului nostru cu ajutorul microscopului electronic şi al atomilor mar-

[1] *Ibidem*, p. 89.
[2] *Ibidem*, p. 109.
[3] *Ibidem*, p. 113.

caţi. Despre microscopul electronic am mai pomenit ; în ceea ce priveşte atomii marcaţi, trebuie să amintim că reacţiile nucleare (inclusiv fisiunea nucleelor) duc la apariţia unor nuclee radioactive. Datorită radiaţiei lor, aceşti atomi marcaţi pot fi descoperiţi şi identificaţi drept acei atomi care au fost plasaţi în diverse ţesuturi ale organismului. Atomii marcaţi permit urmărirea migraţiei diverselor substanţe în organism ; pe baza acestor observaţii pot fi determinate procese fiziologice normale şi patologice mergînd pînă la microprocesele din celule.

În deceniul al cincilea şi într-o măsură mai mare în deceniile VI—VII, răspunsul la întrebarea ce este viaţa a căpătat un aspect cît se poate de concret, în sensul că se indică nu numai funcţiile, ci şi structurile pentru care aceste funcţii sînt caracteristice. Despre aceste structuri am mai vorbit. Acum ne vom opri asupra lor ceva mai sistematic, dacă acest calificativ se potriveşte unor informaţii cît se poate de fugitive şi fragmentare.

Substanţa vie este formată din celule — grămăjoare de protoplasmă înconjurate de o membrană, avînd un nucleu şi cîteva alte incluziuni. Această structură destul de complexă, care efectuează schimburi de energie şi de substanţă cu mediul ambiant, se divide în părţi — celule fiice — cu aceeaşi structură, se diferenţiază (din celula mamă se formează celule polimorfe ale unui organism pluricelular), se deplasează, îşi schimbă structura şi comportarea atunci cînd se schimbă mediul exterior. În celulă se sintetizează moleculele de proteină. Celula este formată în cea mai mare parte din macromolecule de proteine şi de acizi nucleici. Ea cuprinde cîteva zeci de milioane de asemenea molecule. Microscopul electronic a permis studierea destul de detaliată a structurii celulelor, ba chiar a dat oamenilor de ştiinţă posibilitatea să vadă unele molecule, pe cele mai mari.

După cum s-a mai spus, enigma genetică — repetarea structurii şi a comportării organismului — poate fi rezolvată, şi a şi fost parţial rezolvată prin studiul nucleelor celulelor. Structura lor, respectiv existenţa în

nucleu a unor formații supramoleculare, structura acestor formații și structura moleculelor înseși care intră în aceste formații reprezintă punctul de plecare al teoriei moderne a eredității. Nucleul conține pentru fiecare specie un anumit număr de cromozomi, care constau în cea mai mare parte dintr-un acid nucleic care se numește dezoxiribonucleic. Denumirea lui prescurtată — ADN — a devenit nu mai puțin cunoscută cercurilor largi decît denumirile şi simbolurile elementelor celor mai frecvent menționate din sistemul periodic sau ale particulelor elementare. Aceasta corespunde, de altfel, importanței fundamentale a ADN și a cromozomilor în care el intră ca parte componentă, rolul său constînd în dirijarea activității celulelor și în transmiterea caracterelor ereditare ale organismelor. Tocmai în cromozomi este localizată informația genetică ce se transmite celorlalte elemente ale celulei în care are loc sinteza proteinelor. Această sinteză se desfăşoară în formațiile extranucleare situate în protoplasma care înconjoară nucleul și care conține, alături de alte elemente, ribozomi, particule de dimensiuni moleculare, alcătuite din molecule ale unui alt acid nucleic, acidul ribonucleic (prescurtat ARN, denumire de asemenea cunoscută astăzi în cercuri largi). Ribozomii pot fi văzuți cu ajutorul microscopului electronic.

Misterioasele procese de transmitere a informației genetice codificate în ADN duc la formarea, în urma divizării celulei, a unor celule filiale cu aceeași structură și, ceea ce este deosebit de important, cu cromozomi asemănători. Înainte de divizarea celulei, fiecare cromozom se dedublează. Această dedublare a fost studiată destul de amănunțit cu ajutorul microscopului electronic, iar atomii marcați au permis un studiu și mai amănunțit al ei. Cromozomul este format în cea mai mare parte din molecule de ADN, iar dedublarea cromozomului este determinată de dedublarea acestor molecule. Formarea de noi molecule ale ADN (cu alte cuvinte sinteza ADN) are un caracter *matrițial*. Prin acest termen trebuie înțeles următoarele. Pentru sinteza biologică sînt caracteristice procese în care componența substanței este determinată de un anumit

sistem exterior, introdus din afară. Acest sistem este analog formei finite în care se încadrează sau în care se fixează materialul inițial. În cazul sintezei ADN, drept matriță servește însăși molecula ADN, care selecționează oarecum din mediul ambiant atomii necesari și îi aranjează în așa fel ca să rezulte o nouă moleculă.

Dedublarea moleculelor ADN explică păstrarea codului genetic, a acelei informații despre structura și comportarea organismelor, cu anumite variații de la generație la generație. Cum acționează însă această formație? Cum obligă ea să se aranjeze în anumite configurații proteina, care împreună cu acizii nucleici reprezintă principala componentă a substanței vii? Proteinele sînt compuse din aminoacizi. Moleculele lor, dispuse în spațiu, creează întregul sistem autocoordonat de celule, țesuturi și organe. În continuare, reproducerea și diferențierea celulelor, creșterea și dezvoltarea țesuturilor și a organelor sînt determinate de modul de grupare a aminoacizilor în cursul proceselor de sinteză și de descompunere, de interacțiunea lor cu mediul ambiant, de comportarea moleculelor de proteină.

Structura celulelor, a țesuturilor, a organelor și a organismelor înseși, ca și comportarea lor sînt determinate de informația ereditară, genetică. În ce fel însă această informație codificată ADN determină structura și comportarea albuminelor?

Aici ajungem la așa-numita problemă a *transcripției*. Termenul acesta, prin care se desemnează de obicei redarea unui cuvînt prin literele unei alte limbi, este foarte potrivit, deoarece în genetică sînt folosite pe scară largă noțiunea de cod și alte noțiuni ale teoriei informației. Sensul biochimic specific al transcripției constă în sinteza acizilor ribonucleici. Trebuie arătat că acizii dezoxiribonucleici nu pot servi direct drept matrițe pentru sinteza aminoacizilor din care sînt formate proteinele. Au loc niște procese intermediare. Molecula de ADN servește drept matriță pentru formarea moleculei de ARN. Tocmai acest fenomen constituie o transcripție, o traducere a codului genetic într-o altă limbă. Structurii moleculei de ADN, în care se află codificate structura și comportarea organismelor, îi corespunde mo-

lecula de ARN, în a cărei formare molecula de ADN a avut rolul de matriță. Informația genetică este transmisă unui tip de ARN care poartă denumirea de ARN-mesager, acesta fiind cel ce determină sinteza aminoacizilor.

Acum putem reveni la problema macromoleculei ca unica structură capabilă să păstreze codul genetic, garantînd — cu unele abateri — autoreproducerea organismului. Astăzi se pot adăuga multe la argumentele lui Schrödinger. Să cităm considerațiile lui M. V. Volkenstein privind un organism ipotetic format din molecule mici care cuprind un număr mic de atomi[1]. În nici un caz nu poate fi vorba de un corp lichid sau gazos. Mișcările neordonate ale moleculelor unui lichid, și cu atît mai puțin ale unui gaz, nu pot asigura păstrarea informației genetice. Altfel stau lucrurile cînd avem de-a face cu un corp cristalin cu o comportare ordonată a moleculelor. Modificările rețelelor cristaline sub influența mediului exterior pot fi destul de univoce. Sînt perfect imaginabile reacții rapide ale unui „organism" cristalin la anumite acțiuni exterioare care ar modifica, bunăoară, proprietățile de conductori sau semiconductori ale cristalelor. Aceste reacții ar putea deveni niște reflexe condiționate. Mai departe, un sistem ordonat de molecule mici cuprinzînd numeroase rețele cristaline ar putea să-și modifice structura în așa fel încît în ea să se întipărească codul genetic, și ea să se poată reproduce, mai mult chiar, să poată evolua, să poată crea organisme cristaline mai perfecte. E vorba, evident, de un robot cibernetic metalic sau construit din alt material cu molecule mici. Dar după cum observă M. V. Volkenstein, un organism cristalin nu ar putea să apară în mod spontan, așa cum apar macromoleculele. În procesele de polimerizare, moleculele mici se transformă în molecule mari și abia acestea pot forma sisteme supramoleculare vii. Astăzi ne apropiem de acel moment critic în care nu forțe spontane, ci îmbinarea și aranjarea conștientă a celor mai diverse obiecte, inclusiv obiecte cristaline nemacromoleculare,

[1] M. V. Volkenstein, *Molekulî i jizn*, Moscova, 1965, pp. 470—471.

poate da naştere unor sisteme cibernetice capabile de autoreproducere şi autoperfecţionare.

În această expunere succintă asupra celulei şi a nucleului, precum şi a aminoacizilor, a acizilor nucleici şi a sintezei lor, am recurs la multe simplificări şi formulări neriguroase. Există viruşi care pretind titlul de substanţă vie, dar nu sînt alcătuiţi din celule. Există celule bacteriale care nu au nuclee. Se pot face foarte multe rezerve de acest fel. Ele nu vor modifica însă concluziile spre care ne îndreptăm.

Aceste concluzii se referă la raportul dintre biologia moleculară a epocii noastre, care a găsit în macromolecule funcţiile vitale fundamentale ale autoreproducerii şi ale autoreglării şi fizica neclasică. Există oare legături logice directe între tabloul interacţiunii macromoleculelor, al sintezei lor şi al codificării informaţiei genetice, pe de o parte, şi principiile mecanicii cuantice, pe de altă parte ?

Existenţa macromoleculelor, ca şi a moleculelor mici, se datorează microproceselor şi microacţiunilor de natură cuantică. La întrebarea ce anume uneşte atomii în radicali şi molecule nu putem răspunde fără să ne referim la nivelele energetice şi la orbitele electronilor, la poziţiile şi mişcările lor, la proprietăţile ondulatorii ale microparticulelor, la modelul atomului şi în general la noţiunile cuantice. Dar aceasta încă nu face din biologia moleculară o teorie cuantică. Faptul că substanţa este alcătuită din particule elementare, atomi şi molecule, adică din sisteme cuantice, încă nu conferă un caracter cuantic proceselor macroscopice, pentru a căror explicare putem să nu luăm în considerare proprietăţile ondulatorii ale particulelor şi proprietăţile corpusculare ale radiaţiilor. Pentru a explica faptul că nisipul este luat de vînt de pe vîrful unei dune, precum şi mişcarea dunei, nu este necesar să ne referim la structura atomică a firelor de nisip. Dacă însă ni se cere să arătăm cauza pentru care firele de nisip au o anumită formă cristalină, vom fi nevoiţi să ne referim la structura moleculelor, la distribuirea atomilor, la proprietăţile sistemelor cuantice.

Numeroase, ba chiar cele mai multe procese biologice şi biochimice pot fi descrise fără să luăm în considerare comportarea electronilor, legată de proprietăţile lor ondulatorii, sau particularităţile radiaţiilor, legate de natura lor corpusculară. În special procesele de dedublare a cromozomilor, de sinteză a ARN, de sinteză a moleculelor de proteină pe baza matriţelor ARN nu sînt procese cuantice [1].

Există însă procese biologice care nu pot fi explicate (respectiv experimental reproduse) fără noţiuni cuantice. Aceste procese prezintă un interes deosebit pentru prognoze. Din acestea fac parte, printre altele, modificările codului genetic în cromozomi, provocate de cuante ale unor radiaţii cu unde scurte.

Să examinăm mecanismele principale ale modificării cromozomului sub influenţa radiaţiei [2]. Se pot prezenta cîteva cazuri.

În primul caz, o cuantă de energie poate fi absorbită de un atom sau de un grup de atomi în interiorul moleculei de ADN. În acest caz regruparea atomilor şi a legăturilor provocată de radiaţie — o serie de reacţii radiochimice — va duce la ruperea lanţului de radicali sau la o modificare locală stabilă a structurii moleculei de ADN. O asemenea modificare structurală este o schimbare a codului genetic şi dă loc la noi caractere ereditare. Cu alte cuvinte, datorită absorbirii unei cuante de energie se produce o mutaţie, are loc apariţia subită a unei forme noi care se menţine apoi la urmaşi.

Într-un al doilea caz, energia absorbită într-un anumit punct nu provoacă modificări în acel punct, ci trece mai departe împreună cu molecula de ADN şi provoacă undeva o leziune locală, o serie de reacţii radiochimice şi, ca urmare, o reconstruire a cromozomilor şi o mutaţie.

[1] Vezi Longuet-Higgins, în culegerea *Probleme de biofizică*, Moscova, 1964. Cf. M. V. Volkenstein, *op. cit.*, pp. 472—474.

[2] Vezi N. P. Dubinin, *Voprosî radioghenetiki*, Moscova, 1961, pp. 421—422.

Într-un al treilea caz, absorbirea unei cuante va avea un efect indirect. Cuanta nu va acţiona nemijlocit asupra cromozomului, ci asupra moleculelor mediului ambiant. Astfel, în acest mediu vor apărea noi agenţi chimici activi, care vor acţiona asupra cromozomilor ca nişte mutagene, adică vor provoca o reconstrucţie a codului genetic şi o mutaţie.

În marea majoritate a cazurilor, mutaţiile provocate de radiaţii sînt nocive. Noile caractere ereditare afectează viabilitatea şi reproducerea organismelor. Radiaţia dezordonată „entropică", sporirea cuantumului de radiaţii în mediul înconjurător reprezintă unul dintre rîndurile gravate pe partea ameninţătoare a inscripţiei care simbolizează viitorul civilizaţiei. Pe partea cealaltă a acestei inscripţii, în programul de securitate, înflorire şi progres se proiectează scăderea cuantumului de radiaţii. Prognoza pentru anul 2000 prevede scăderea treptată a cuantumului de radiaţii ca urmare a încetării experienţelor nucleare, a folosirii riguros controlate a energiei atomice.

Dar oare nu este posibil ca radiogenetica, valorificînd radiaţiile dirijate şi controlate, să devină o metodă constructivă ? Da, ea face parte de pe acum din această categorie de metode. Să menţionăm radioselecţia, folosirea izotopilor radioactivi şi a altor surse de radiaţii ionizante pentru mărirea numărului diverselor mutaţii, precum şi pentru selecţionarea artificială a mutaţiilor care fac să crească vitalitatea, viteza de reproducere şi valoarea economică a organismelor animale şi vegetale.

La nivelul celulelor, folosirea radiaţiilor include radioterapia. Vom menţiona aici radioterapia cancerului.

Folosirea diverselor radiaţii pentru combaterea cancerului s-a putut transforma dintr-o metodă pur empirică în una ştiinţifică numai pe baza biologiei moleculare. Obiectivul direct al radioterapiei este comportarea celulelor. Or, această comportare este programată în moleculele ADN. În prezent există două concepţii cu privire la originea cancerului : una care o atribuie mutaţiilor şi o alta potrivit căreia neoplasmele maligne se datoresc unor viruşi. Procesul iniţial îl constituie,

potrivit primei concepţii, modificările în codul genetic, iar potrivit celei de-a doua, pătrunderea unui virus în organism. Este însă posibil ca virusul să acţioneze asupra cromozomilor tulburînd structura lor, iar informaţia genetică modificată să predetermine înclinaţia celulelor către o creştere malignă [1]. În orice caz, fără noţiunile de cromozom şi cod genetic nu s-ar putea dezvolta nici etiologia, nici terapia cancerului.

Totodată radioterapia cancerului nu s-ar putea dezvolta ca o disciplină ştiinţifică în adevăratul înţeles al cuvîntului fără cunoaşterea detaliată a acţiunii radiaţiilor de diverse intensităţi şi frecvenţe şi a diverselor tipuri de particule asupra apariţiei reacţiilor radiochimice la nivel molecular. Să notăm că e vorba despre procese prin excelenţă cuantice.

În zilele noastre modalităţile şi nivelul de folosire a radiaţiilor în agricultură şi în medicină sînt încă foarte departe de ceea ce se va putea realiza în viitorul pătrar de secol. Aici este cazul să ne reamintim de electronica cuantică. Nu este exclus ca la sfîrşitul secolului al XX-lea omenirea să facă mari progrese în domeniul creşterii substanţiale a resurselor de produse alimentare, al combaterii cancerului şi al prelungirii considerabile a vieţii oamenilor cu ajutorul electronicii cuantice şi al biologiei moleculare.

J. Thomson spune că radiogenetica actuală se aseamănă cu încercarea de a perfecţiona un monument trăgînd asupra lui de la mare distanţă cu o mitralieră [2]. Într-adevăr, radiaţiile folosite în prezent seamănă cu un tir dezordonat prin care vrem să provocăm un mare număr de mutaţii neaşteptate, astfel încît să putem alege pe cele pozitive şi să le stabilizăm prin selecţie în decursul unei perioade relativ îndelungate, operînd asupra unei serii de generaţii de animale sau plante. Astăzi nu sîntem în stare să îndreptăm un tir precis asupra cromozomului ; în primul rînd nu posedăm o armă adecvată pentru tragerea la ţintă (zona de acţiune a radiaţiei cuprinde o mare porţiune de ţesut viu), iar

[1] *Ibidem*, p. 405.
[2] J. Thomson, *Viitorul previzibil*, Moscova, 1958, p. 134.

în al doilea rînd nu avem o țintă bine localizată (nu cunoaștem suficient de detaliat structura interioară a moleculei de ADN și rolul elementelor ei în declanșarea diferitelor mutații).

Ne putem aștepta ca electronica cuantică să ne ajute să îmbunătățim precizia tirului și să localizăm ținta. Microscopul electronic permite oamenilor de știință să studieze porțiuni foarte mici de suprafață. Pe o asemenea porțiune poate fi concentrat un fascicul de electroni sau un fascicul subțire de cuante ale radiației electromagnetice. În felul acesta realizăm nu numai un tir precis, ci și o localizare a țintei, deoarece electronica ne permite astfel să studiem experimental funcțiile elementelor moleculei de ADN în procesul de declanșare a diferitelor mutații, să cercetăm mecanismul declanșării lor și, în cele din urmă, să obținem mutații dinainte programate, acționînd asupra elementelor pozitive ale moleculei.

Este vorba aici nu numai de electronica cuantică în sensul îngust al acestei noțiuni, ci și de întregul ansamblu de radiații corpusculare, cu marea lor diversitate de tipuri de particule, care se deosebesc în ceea ce privește energia și sursa. Electronica cuantică ne permite să îndreptăm asupra unei celule și chiar asupra unui cromozom un fascicul de raze concentrat și precis direcționat. Pe de altă parte, radiația poate fi mai exact localizată în timp pe baza efectului relativist : pentru particula folosită ca proiectil timpul se scurge mai repede sau mai încet în funcție de viteza mișcării ei; în mod corespunzător îi putem regla timpul de viață și-i putem fixa lungimea traiectoriei. Poate că în combaterea cancerului va fi folosită pe scară largă iradierea cu particule relativiste care se vor dezintegra acolo unde este necesar, fără a provoca leziuni țesuturilor sănătoase.

Astăzi este încă greu să prevedem formele concrete ale radiogeneticii „cu tir precis", ale radioterapiei „cu tir precis". De altfel, aici nu ne interesează aceste forme concrete, ci importanța principială a acestei tendințe pentru prognoza generală privind anul 2000. Importanța ei rezidă în modificarea conștientă a structurii de de-

taliu a biopolimerilor. Dacă electronica cuantică ordonează prin concentrare o mulţime neordonată şi în acest sens „entropică“ de radiaţii, biochimia cuantică, folosind fascicule înguste de radiaţii de unde scurte şi fluxuri subţiri de particule de diferite tipuri şi energii, face să scadă caracterul neordonat al acţiunii pentru a obţine modificări genetice.

Forma cea mai entropică, cea mai neordonată şi necontrolabilă a modificărilor de acest fel este reprezentată de mutaţiile provocate de fondul de radiaţii. Sfîrşitul secolului al XX-lea va fi o perioadă de reducere a acestei forme entropice de acţiune asupra vieţii şi de creştere a formelor concentrate de acţiune.

Într-unul din capitolele acestei cărţi ne vom opri asupra problemei informaţiei şi a acumulării şi concentrării ei ca linie axială a progresului în toate domeniile. Acum, anticipînd, putem spune următoarele.

Natura a mers destul de departe în ceea ce priveşte ordonarea statistică a eredităţii. Codul genetic posedă un nivel înalt de stabilitate. Molecula de ADN dispune de o „memorie“ apreciabilă privind evoluţia speciei şi „ştie“ destul de bine ce detalii ale organismelor se vor repeta în viitor. Dar informaţia despre modificarea eredităţii este restrînsă. Mutaţiile formelor organice nu sînt programate. Evoluţia vieţii organice este ordonată numai statistic : dintr-o mare mulţime, reprezentativă din punct de vedere statistic, a unor mutaţii întîmplătoare sînt selecţionate şi reproduse modificările care fac să crească probabilitatea supravieţuirii organismelor. Într-o anumită măsură faptul acesta se explică prin caracterul neordonat, întîmplător, „entropic“ al acţiunilor, în special al acţiunii radiaţiilor asupra substanţei vii şi asupra codurilor genetice ale organismelor. Obiectivul fundamental al secolului nostru constă în a transmite secolului următor o rezervă considerabilă de informaţie privind dinamica informaţiei genetice. Această problemă se rezolvă într-o anumită măsură prin ordonarea şi concentrarea radiaţiei, prin reducerea entropiei ei (pe seama creşterii ei în mediul ambiant), adică prin electronica cuantică şi metodele analoge celor folosite de ea. Să ne limităm a sublinia

că fizica cuantică reprezintă atît baza teoretică a unui studiu mai detaliat al biopolimerilor, cît și a progresului continuu al electronicii.

Există încă o legătură între fizica cuantică și biologie. Ea nu poate fi reprezentată sub forma unei serii de procedee experimentale și scheme fizice care trec din fizică în biologie. E vorba de creșterea *potențialului intelectual* al științei în ansamblu și al biologiei în special, ca urmare a lărgirii considerabile, determinată de mecanica cuantică, a ceea ce s-ar putea numi *valențele asociative ale gîndirii științifice*. Cînd omul de știință caută un model care să dezvăluie natura unui proces, în mintea lui apare un număr mai mare sau mai mic de asociații. El poate să îmbine noțiunile și faptele de care dispune, corespunzător fiecărei din aceste asociații. Cînd Carnot se gîndea la limitele perfecționării mașinilor cu abur și la trecerea fluidului caloric de la cazan la condensator, a fost firesc să se utilizeze ca „șablon" pentru schema termodinamică respectivă modelul mecanic al unui lichid care se scurge dintr-un vas în care lichidul atinge un nivel mai înalt într-unul în care lichidul are un nivel mai scăzut. Cînd Faraday a elaborat concepția cîmpului, liniile de forță se asociau în mintea sa cu niște tuburi elastice. Omul de știință alege dintr-un număr mai mare sau mai mic de asociații pe cele posibile. Numărul acestor asociații se multiplică atunci cînd apar concepții noi, care înseamnă nu numai o „mișcare a rațiunii înainte", ci și „adîncirea ei în sine însăși".

Ne vom opri acum asupra interacțiunii dintre fizică și biologie.

Atunci cînd vorbim despre rezultatele revoluției care s-a produs în concepțiile despre viață la jumătatea secolului, apare pe primul plan influența exercitată asupra biologiei de mijloacele experimentale ale fizicii și chimiei, de noțiunile fizico-chimice clasice și cuantice și de creșterea generală a nivelului intelectual determinată de fizica teoretică. Cînd vorbim însă de perspective, se produce o anumită deplasare a accentelor. Este probabil că în deceniile care au mai rămas pînă la sfîrșitul secolului va crește considerabil retroacțiunea

biologiei asupra fizicii, chimiei şi asupra tehnicii experimentale şi de producţie legată de fizică şi de chimie.

Această retroacţiune este posibilă atît la nivelul molecular cît şi la cel supramolecular. La nivel molecular ne aşteptăm la o perfecţionare a polimerilor sintetici, proces în care rolul de „schemă directoare" îl vor avea biopolimerii, adică macromoleculele de substanţă vie. Acestea posedă o serie de avantaje, de pildă o omogenitate a compoziţiei nerealizată în chimie. Biopolimerii sînt alcătuiţi din molecule identice ca structură şi compoziţie. La polimerii sintetici — cauciucurile sintetice, materialele plastice, fibrele artificiale — întîlnim catene de lungimi diferite şi cu o dispunere diferită a radicalilor şi atomilor. E de presupus că în următoarele decenii se va extinde domeniul de utilizare a materialelor sintetice ca urmare a apropierii lor la nivel molecular de materialele organice naturale. Totodată biologia moleculară va permite mărirea numărului materialelor sintetice cu proprietăţi dinainte programate, precum şi lărgirea gamei acestor proprietăţi.

Nu este exclus ca la nivel supramolecular retroacţiunea biologiei asupra fizicii să creeze posibilitatea de a imita în aparatul energetic al producţiei reacţiile motorii ale substanţei vii.

O schemă pur mecanică sau electromagnetică nu poate să se apropie nici în ceea ce priveşte randamentul, nici în ceea ce priveşte caracterul diferenţiat al mişcărilor, de muşchii fiinţelor vii, cu funcţiile mecanochimice care îi caracterizează.

J. Thomson compară mîna unei maimuţe care rupe portocale dintr-un pom cu o maşină care îndeplineşte aceeaşi funcţie cu ajutorul electronicii. O asemenea maşină electronică nu ar încăpea probabil într-un camion şi ar consuma o mare cantitate de energie. O maimuţă are însă doar greutatea de 20 kg şi nu consumă decît 500 g de nuci pe zi [1]. Şi nu e vorba decît de o mînă de maimuţă. Se poate ea compara cu mîna omului ? Mîna care a putut „să atingă acel grad superior de desăvîrşire care i-a permis să creeze minuni

[1] *Ibidem*, p. 138.

ca tablourile lui Rafael, ca statuile lui Thorvaldsen sau muzica lui Paganini ? [1]

Se prea poate ca mişcările muşchilor — care sînt inferioare mişcărilor unor mecanisme în ceea ce priveşte precizia repetărilor, dar care le depăşesc cînd este vorba de a îndeplini ordine diferenţiate ce vin de la creier — să devină un model pentru tehnica de producţie şi experimentală. E posibil, de asemenea, că nişte dispozitive care vor imita muşchii în ceea ce priveşte funcţiile, le vor imita şi la nivel molecular, adică vor fi alcătuite din macromolecule sintetice şi vor acţiona pe baza unor procese mecanochimice. Cel mai probabil este însă că reconstrucţia aparatului energomotor, cel puţin în următoarele decenii, nu se va face în direcţia unor polimeri sintetici care să imite funcţiile mecanochimice ale muşchilor şi că funcţiile motorii ale muşchilor vor fi îndeplinite de sisteme formate din reţele cristaline.

Despre aceasta am mai vorbit. Retroacţiunea biologiei asupra fizicii constă în faptul că funcţiile organismului viu formează un fel de matriţă sau schemă directoare spre care este orientată construirea de mecanisme cibernetice. Desigur, aceste mecanisme vor putea şi pot de pe acum să facă lucruri inaccesibile organismului uman. Faptul acesta nu privează însă organismul de rolul de schemă directoare, şi aceasta pentru simplul motiv că cibernetica va avea întotdeauna ca ţel principal transformarea muncii umane.

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, Editura politică, Bucureşti, 1959, p. 155.

6
Cibernetica

Linia fundamentală a transformării caracterului muncii la sfîrșitul secolului al XX-lea și la începutul secolului al XXI-lea va fi legată de fizica cuantică. Ne referim la cibernetică. Ea reprezintă un remarcabil salt înainte față de antecedentele ei istorice : vechile imitații mecanice ale animalelor și ale omului. Cibernetica se deosebește de ele nu numai prin caracterul complex al mecanismelor și nu numai prin bazele ei fizico-tehnice, ci și prin funcțiile ei. Ea nu consideră nicidecum drept obiectiv principal imitarea funcțiilor biologice ale organismelor, imitarea comportării biologice.

E vorba de acel obiectiv principal care stă la baza prognozei al cărei termen convențional este anul 2000. Să anticipăm puțin și să vorbim despre acest obiectiv. El constă în programarea nu numai a autoreproducerii unor mecanisme, ci și a evoluției lor ulterioare, a perfecționării lor ulterioare, a trecerii lor ulterioare la alți parametri. O asemenea programare dinamică se deosebește principial de filogeneza biologică. Aceasta din urmă se bazează pe legile statistice ale selecției.

Altfel se prezintă legile filogenezei tehnice, ale progresului tehnic, ale modificării nivelului tehnic cu fiecare nouă generație de mașini. Progresul tehnic îl eliberează pe om de dominația legilor statistice ale selecției naturale. Cea mai înaltă expresie a programării progresului tehnic o va constitui o serie de generații de mașini care se vor putea succeda creînd scheme mai perfecte decît cele realizate în ele. Vom vedea mai jos că o asemenea substituire a omului în funcția lui dinamică, reconstructivă, constituie o apoteoză a omului în esența lui autentic umană.

Evoluția ciberneticii a fost strîns legată de studiul legilor vieții organice la nivelul moleculei, al celulei, al mușchiului, al sistemului nervos. A avut loc generalizarea acestor legi ; noțiuni fiziologice și psihologice erau combinate cu noțiuni fizice și cu altele și mai generale din domeniul teoriei informației. În cartea lui Norbert Wiener *Cibernetica sau știința comandei și comunicației la ființe și mașini* [1] găsim, în special în introducere, o relatare vie și cuprinzătoare cu privire la primii pași ai ciberneticii, din care reiese importanța problemelor și noțiunilor biologice pentru geneza noii științe. Pe de altă parte însă, chiar în stadiile inițiale ale dezvoltării sale, iar mai tîrziu într-o măsură tot mai mare, cibernetica s-a manifestat ca parte integrantă a operei de transformare activă a naturii, a acelei „adaptări artificiale“ pe care Marx o opunea adaptării naturale, biologice.

Pentru substanța vie, încă la nivelul molecular sînt caracteristice structuri cu un număr foarte mare de elemente. Această caracteristică a substanței vii este legată de păstrarea informației genetice, care asigură ontogeneza organismelor și autoreproducerea lor : conservarea și evoluția caracterelor proprii unei specii în procesul de filogeneză.

Structura moleculei de ADN determină structura ARN și apoi structura și comportarea celulei, a țesutului și a organismului. Dar în cazul general această

[1] Norbert Wiener, *Cibernetica sau știința comandei și comunicației la ființe și mașini*, București, Ed. Științifică, 1966.

structură se modifică numai sub influența unor factori externi, de pildă a unor radiații. Ea poate să se schimbe și spontan, dar aceste mutații spontane nu sînt programate în codul genetic. În molecula de ADN nu există un mecanism de conexiune inversă care să provoace o reconstruire a cromozomilor, o reconstruire a codului genetic și alegerea unei alte căi a filogenezei.

Să examinăm acum mecanismul cibernetic, fără a uita că vorbim despre perspective, despre tendințele care se fac simțite de pe acum, dar care vor prinde un caracter definitiv abia în viitor. Pentru o mașină de calcul care devine un dispozitiv de comandă este caracteristică următoarea operație. În fiecare moment mașina poate să calculeze rezultatele unei directive pe care și-o poate adresa sieși (predeterminînd o anumită reconstruire a propriei structuri) sau unor receptori externi. Ea poate chiar să calculeze rezultatele mai multor directive, și să aleagă una dintre ele ca fiind optimă, adică asigurînd valoarea maximă sau minimă a unor anumiți parametri programați. Drept exemplu poate fi luată mașina care joacă șah. Ea posedă capacitatea de a alege o mutare din mai multe posibile și capacitatea de a calcula dinainte rezultatele fiecărei variante. E vorba aici despre conexiunea inversă. Trebuie să subliniem însă că această conexiune inversă nu are caracterul empiric propriu în general comportării organismelor vii. Cînd alegerea făcută de un organism viu este determinată de un reflex condiționat, natura empirică a alegerii este evidentă. Dar chiar în cazul cînd un animal sălbatic își alege drumul spre locul de adăpare, spre prada lui sau spre un adăpost, în capul animalului sînt confruntate impresiile empirice întipărite în memoria lui.

Spre deosebire de cele de mai sus, rezultatele operațiilor de calcul sau logice pe care le execută mașina pot să nu se afle în memoria mașinii. Apare aici o informație-prognoză, un fel de „cod genetic" cu o conexiune inversă neempirică.

Datorită caracterului neempiric al conexiunii inverse, mecanismul cibernetic poate să primească un set de parametri care încă nu a existat în mod real niciodată,

pentru ca apoi, după ce l-a confruntat cu alte eventuale seturi de parametri şi şi-a fixat asupra lui alegerea, să creeze un sistem real nou care să nu aibă precedente reale. În felul acesta, funcţia dinamică — modificarea structurii şi a comportării sistemului, care în lumea organică nu este programată de codul genetic, în cibernetică este determinată *ante factum* — se încadrează în informaţia prospectivă, legată printr-o conexiune neempirică cu fapte eventuale, dar nu reale. „Codul genetic“ cu caracter dinamic al dispozitivului artificial poate îngloba modificări mai mult sau mai puţin profunde. Maşina cibernetică, calculînd şi alegînd parametri optimali ai maşinii noi, poate să schimbe amănuntele, combinarea lor, ritmul procesului tehnologic etc. fără a modifica ciclul ideal, dar poate să şi predetermine un alt ciclu. Vom reveni în curînd la ierarhia deplasărilor dinamice tot mai profunde care duc la optimizarea automată a producţiei.

Între rolul unui element oarecare al substanţei vii în evoluţia organică şi rolul unui element al dispozitivului cibernetic există o deosebire substanţială. Un element al structurii organice, respectiv o moleculă de ADN, ARN sau de albumină influenţează tot atît de puţin direcţia evoluţiei organice cît influenţează o moleculă izolată direcţia proceselor termodinamice. Soarta unei molecule organice, de pildă o modificare a structurii ei poate să provoace o mutaţie, dar pentru ca o mutaţie să influenţeze filogeneza, soarta speciei, evoluţia organică, este necesar mecanismul selecţiei naturale cu legile lui statistice prin excelenţă macroscopice. Altfel se prezintă lucrurile în cazul selecţiei artificiale, de pildă în cazul radioselecţiei. Aici contează fiecare mutaţie.

În maşinile cibernetice rolul de indivizi elementari îl au piesele cu vid sau cristaline, care reacţionează într-un anumit fel la diverse semnale. Este posibilă o reacţie greşită a unei piese elementare, reacţie care este îndreptată sau compensată. Maşinile cibernetice cuprind instalaţii speciale de control şi compensare. Ele nu se bazează însă pe ignorarea, ci pe luarea în

considerare a comportării elementelor individuale ale mașinii.

Linia de delimitare dintre elementele neglijabile și cele luate în considerare trece între genetica „cu tir precis" și genetica în care se acționează asupra unor „suprafețe de tir" macroscopice (s-a vorbit despre ele în capitolul precedent). În ceea ce privește cibernetica, ea se află în întregime în domeniul proceselor „cu tir precis" și a luării în considerare a proceselor individuale și a destinelor individuale. Procesele stocastice din domeniul ciberneticii (în special cele care asigură siguranța comenzii) nu decurg din ignorarea proceselor individuale.

Bradbury are o nuvelă în care este vorba de o călătorie în trecut cu un fel de mașină a timpului care te transportă într-o altă epocă geologică. Unul dintre participanții la această călătorie ucide o vietate neînsemnată oarecare și, ca urmare, se schimbă întreaga evoluție biologică și istorică pe Pămînt. Schimbarea are loc spre mai rău : revenind la prezent, exploratorii află despre victoria candidatului fascist în alegerile prezidențiale din S.U.A. Putem afirma că un asemenea tablou fantastic nu corespunde legilor evoluției biologice. În cadrul acesteia, totul depinde de procese macroscopice, iar rezultatele destinului individual al unui organism oarecare sînt anihilate de stihia entropică, căreia i se opune numai ordinea macroscopică a existenței. În schimb, în dispozitivele cibernetice, procesul elementar nu are de loc un rol neglijabil și i se poate aplica în întregime concepția lui Bradbury. Un proces elementar intervenit într-o mașină cibernetică destinată să găsească soluția optimă poate să modifice această soluție. După cum s-a mai spus, mașinile cibernetice conțin dispozitive pentru controlul și neutralizarea unor turburări accidentale ale reacțiilor elementare, dar aceste dispozitive nu se bazează pe stabilirea unei medii macroscopice implicînd ignorarea proceselor elementare, ci pe luarea în considerare a acestora. Baza ciberneticii este ordinea în desfășurarea microproceselor.

Trebuie să avem doar în vedere că ordinea proceselor microscopice se deosebește de ordinea macroscopică a

existenței. Cînd e vorba de comportarea ordonată a unui ansamblu statistic de molecule, știm că în medie toate moleculele se mișcă după un tipic și formează un corp în mișcare (sau, într-un anumit sistem de referință, un corp în repaus). Aici nu avem de-a face cu o indeterminare a poziției sau a impulsului acestui corp macroscopic. Entropia este măsura caracterului neordonat al moleculelor care alcătuiesc acest corp.

Cînd este vorba despre obiecte care nu sînt alcătuite dintr-un mare număr de molecule, despre obiecte din lumea microscopică, despre rețele cristaline, despre molecule cu un număr mai mic de atomi, despre atomi, despre nucleele lor și, în sfîrșit, despre particulele elementare, inexistența entropică a informației nu decurge nicidecum din ignorarea particulelor mai mici, ci din acțiunea necontrolabilă a corpurilor macroscopice asupra particulelor. Avem de-a face aici cu indeterminarea unui eveniment individual. În acest caz nu este vorba despre o limitare a ordinii și respectiv a informației, ci mai curînd de o modificare a semnificației înseși a noțiunilor de ordine și informație ; este vorba de faptul că o anumită disipare a valorilor capătă rolul unei determinări suplimentare a acestor noțiuni. Dar asupra acestei probleme vom mai reveni.

Cibernetica a putut să apară și să-și traseze obiective în domeniul tehnicii de producție și al cercetării datorită faptului că știința a căpătat posibilitatea de a interveni activ în această lume cuantică a microproceselor ordonate, de a influența microprocesele individuale, de a veni în contact direct cu caracterul discret al substanței și al radiației.

Lanțurile de operații matematice și logice folosite în mod obișnuit într-o mașină cibernetică în sistemul binar de numerație amintesc cunoscutul joc în care numele unui personaj este găsit prin mijlocirea unui număr finit de întrebări la care se dă răspunsul *da* sau *nu.* În celula elementară a dispozitivului cibernetic — care cuprinde mii de asemenea celule — are loc un anumit proces care înseamnă *da* sau *nu,* în așa fel încît treptat ne apropiem de răspunsul la întrebarea pusă mașinii. Răspunsul poate să cuprindă rezolvarea unui sistem de

ecuaţii cu cele mai diverse semnificaţii, cum ar fi diagnosticul unei boli, orarul unor trenuri dintr-o reţea feroviară, parametrii unui nou mecanism cibernetic sau probabilitatea a diferite reacţii nucleare. Esenţial este faptul că aceste procese elementare au un caracter paradoxal : din punct de vedere clasic ele sînt în general imposibile.

Istoria teoriei cuantelor cîmpului electromagnetic a început de la constatarea unor asemenea procese paradoxale. După ce Planck a descoperit caracterul discret al radiaţiei şi absorbţiei undelor electromagnetice, Einstein a ajuns la noţiunea de cuantă a cîmpului electromagnetic pornind de la nişte particularităţi ale efectului fotoelectric inexplicabile în cadrul fizicii clasice. Acest efect constă în faptul că lumina expulzează electroni de pe suprafaţa unui corp, de pildă a unei plăci metalice. Energia electronului expulzat de lumină corespunde energiei aduse de unda electromagnetică. S-ar părea că cu cît mai departe se propagă undele electromagnetice, cu atît mai mică este energia conţinută în fiecare punct al undei propagate : densitatea energiei în frontul undei scade. În felul acesta energia undei electromagnetice în punctul în care se expulzează de pe suprafaţa plăcii un electron trebuie să depindă de distanţa dintre placă şi sursa de lumină. În realitate, energia electronului expulzat de pe suprafaţa metalului nu depinde de această distanţă. După cum a observat Kramers, lucrurile se petrec astfel : să ne închipuim că un marinar s-a aruncat de pe o corabie în mare, că din locul căderii sale a pornit în toate direcţiile un val circular, care a ajuns pînă la un alt marinar ce se scaldă la celălalt capăt al mării, şi că energia valului a fost suficientă pentru a-l arunca pe acest marinar din apă pe puntea navei sale. Acest fapt, paradoxal din punct de vedere clasic, s-a dovedit firesc atunci cînd Einstein a formulat presupunerea că lumina este compusă din cuante care au fost denumite fotoni.

Procese asemănătoare din acest punct de vedere cu efectul fotoelectric — paradoxale în cadrul teoriei clasice şi fireşti în cadrul fizicii cuantice — au devenit principalele procese folosite cu scopuri tehnice în elec-

tronica cuantică și în radiogenetică. Tocmai ele au permis ciberneticii să devină factorul principal al transformării caracterului muncii.

La fabricarea primei generații de mașini cibernetice s-au folosit tuburi cu vid. Dacă introducem în interiorul unui tub electronic niște electrozi și scoatem aerul cu o pompă, curentul electric va trece prin tub cînd unul dintre electrozi va emite electroni, care vor ajunge la celălalt electrod. Pentru aceasta unul dintre electrozi trebuie încălzit. Într-o lampă cu incandescență obișnuită, filamentul înroșit emite împreună cu cuantele de lumină electroni. Dacă în peretele becului s-a introdus un alt electrod, becul se poate include într-un circuit în așa fel încît filamentul de metal să aibă rolul de catod, iar cel de-al doilea electrod — rolul de anod. În acest caz sarcinile negative, electronii, se vor deplasa de la catod la anod și lampa va deveni conductor.

Variind și combinînd asemenea scheme putem să obținem : dispozitive care să lase să treacă curentul într-o singură direcție ; sau dispozitive care să conducă curentul ori, dimpotrivă, să devină izolatoare atunci cînd li se aplică o tensiune ; sau dispozitive care să închidă circuitul ori să-l deschidă atunci cînd primesc două impulsuri asemănătoare sau diferite. Asemenea dispozitive cu vid răspund astfel *da* sau *nu* (închid sau deschid circuitul), primind două impulsuri (ceea ce corespunde conjuncției *și* din întrebarea pusă) sau primind un singur impuls (ceea ce corespunde conjuncției *sau*). Reacția unui asemenea dispozitiv este analogă răspunsului pozitiv sau negativ dat în urma unei operații logice la o întrebare în care sînt enunțate condițiile. Trebuie să subliniem rapiditatea cu care se dă acest răspuns. În procesul evoluției biologice mediul dă răspunsul negativ sau pozitiv la întrebarea pusă de organismele supuse mutației. Natura dă un răspuns pozitiv cînd mutația este stabilită prin selecție sau un răspuns negativ cînd mutația este respinsă de mediu. Răspunsul reclamă o experimentare care se repetă în proporții de masă în cursul unui șir lung de generații, din care cauză el întîrzie cu mii de ani. Se poate construi un mecanism macroscopic de tipul lacătului, care se deschide (răspuns

pozitiv) sau nu se deschide (răspuns negativ), sau un dispozitiv în care o armătură este atrasă sau nu de către un electromagnet. În ambele cazuri caracterul macroscopic al dispozitivelor reclamă pentru funcționarea lor energii mari și timp îndelungat pentru fiecare proces elementar. Ordinea macroscopică a proceselor înseamnă că particule adunate în angrenaje uriașe acționează uniform. Aceste angrenaje — pîrghii, valțuri, roți dințate, armături de electromagneți etc. — se mișcă la o scară spațială macroscopică de ordinul milimetrilor și centimetrilor și la o scară temporală de ordinul secundelor. Chiar în cazul unor energii considerabile, vitezele reacțiilor mecanismelor macroscopice nu pot fi foarte mari.

Electronica pornește de la procese microscopic ordonate care duc la efecte macroscopice. Să ne referim la dispozitivele electronice menționate mai sus. Procesul primar este emiterea de electroni. Este un proces prin excelență microscopic. Rezultatul lui este închiderea sau deschiderea unui circuit electric, care poate fi destul de puternic pentru a provoca deplasarea unor mase macroscopice. Evenimentele microscopice, la care participă particule discrete ale substanței și radiații, se desfășoară la o scară spațială și temporală foarte mică. Este vorba de miimi și milionimi de centimetru și de secundă. În aceste intervale spațio-temporale au loc evenimente care constituie punctul de pornire al unor procese macroscopice cum ar fi schimbarea regimului de lucru a zeci de centrale electrice gigantice.

Semnalele care modifică rezistența dispozitivelor electronice pot fi niște semnale luminoase : ele pot acționa asupra unor catozi reci. Efectul fotoelectric (acel efect paradoxal din punct de vedere clasic care a condus la ideea cuantelor de lumină) se află la baza fotoelementților în care lumina smulge de pe anod electronii, care, la rîndul lor, conduc curentul prin tubul cu vid. Folosirea semnalelor luminoase include în numărul de semnale inițiale pentru dispozitivele electronice întreaga sferă a impresiilor vizuale, printre care și preparatele aflate sub obiectivul unui microscop și cerul înstelat observat cu ajutorul telescopului. Fotoelementul reac-

ţionează şi la oscilaţiile electromagnetice aflate în afara spectrului vizibil. Astfel devine posibilă, după cum s-a mai spus, legarea elementelor dispozitivelor cibernetice cu mijloacele electronicii cuantice „cu tir precis“, cu razele de laser, inclusiv cu radiaţiile ultraviolete şi cu radiaţii cu lungimi de undă şi mai scurte.

Locul tuburilor electronice l-au luat alte dispozitive. Apariţia şi răspîndirea lor este legată de dezvoltarea rapidă a teoriei cuantice a corpului solid. Fizica clasică consideră corpul solid drept un ansamblu de particule care reprezintă la rîndul lor corpuri solide de proporţii foarte mici, dar care nu diferă de cele macroscopice în ceea ce priveşte caracterul comportării lor. Fizica cuantică a corpului solid descrie procese specifice pe care nu le cunoaşte tabloul macroscopic al lumii. Tocmai aceste procese paradoxale din punctul de vedere al fizicii clasice sînt folosite în dispozitivele cibernetice. Teoria cuantică ne permite să ne facem o idee mult mai clară despre procesele specifice ale modificării conductibilităţii cristalelor şi să dirijăm într-o măsură tot mai mare aceste procese. Există apoi o serie de substanţe care au proprietăţi de semiconductori. Conductibilitatea lor depinde de componenţa lor şi de influenţe exterioare, de exemplu de absorbţia luminii. De aceea sistemele de dispozitive cu semiconductori pot îndeplini toate operaţiile pe care le îndeplinesc sistemele de dispozitive cu vid, recepţionînd şi prelucrînd informaţia continuă în semnalele primite din afară.

Dispozitivele cu semiconductori, care au căpătat o mare răspîndire mai întîi în radiotehnică, acum au devenit elementele de bază ale instalaţiilor cibernetice. Ele consumă cu mult mai puţină energie decît tuburile electronice, în care o cantitate apreciabilă de energie se cheltuieşte pentru încălzirea catodului, respectiv a sursei de electroni. O şi mai mare importanţă are faptul că în interiorul unui cristal procesele electronice se desfăşoară mult mai repede decît în vid. Dispozitivele cu semiconductori folosite ca celule elementare ale maşinilor cibernetice au permis mărirea numărului de operaţii de la cîteva mii la cîteva sute de mii şi milioane pe secundă.

Alături de semiconductori, posibilitățile mașinilor cibernetice au fost extinse şi datorită unor alte aplicări ale teoriei cuantice a corpului solid. Vom aminti folosirea *criotronilor*, dispozitive care folosesc amplificarea semnalelor în conductori răciți pînă la temperaturi foarte scăzute. Criotronul este un conductor cu un bobinaj prin care trece un curent slab. Cînd temperatura se apropie de zero absolut, cele mai neînsemnate modificări ale curentului din bobinaj determină modificări foarte importante ale conductibilității. În felul acesta, criotronul îndeplinește aceeași funcție ca și tubul electronic, ca şi trioda cu semiconductori. În criotroni, ca și în tuburile electronice şi în dispozitivele cu semiconductori, sînt folosite procese care din punct de vedere clasic par paradoxale. Descrierea fenomenologică a proceselor folosite în aparatele cibernetice — tuburile cu vid, dispozitivele cu cristal, criotronii — ar fi posibilă și fără să ne adîncim în teoria neclasică. Dar pentru cibernetică este caracteristică trecerea aproape continuă la noi principii fizice, construirea sistematică de noi dispozitive (și anume noi într-un sens din ce în ce mai radical și mai fundamental) și pe această bază automatizarea unor operații tot mai complexe. Un asemenea progres al ciberneticii, care asigură nu numai o viteză nenulă, ci și o accelerație pozitivă a progresului științifico-tehnic în ansamblu, cere ca știința să nu se limiteze la descrierea fenomenologică a proceselor menționate.

Nu este necesar să continuăm aici caracterizarea dispozitivelor elementare din care sînt alcătuite mașinile cibernetice. De aceea nu vom încerca să descriem schemele acestor instalații, schemele rezolvării automate a problemelor matematice, schemele recepționării și prelucrării informației, ale blocurilor de memorie și ale mecanismelor de comandă. În această lucrare examinăm doar două probleme : legătura dintre progresul științifico-tehnic de la sfîrșitul secolului al XX-lea și știința neclasică, precum și rezultatul acestui progres. Succintele caracterizări ale principiilor fizico-tehnice întruchipate în tuburile cu vid, în dispozitivele cu semiconductori și în criotroni au doar rolul de a ilustra

legătura dintre cibernetică și mecanica cuantică. Să trecem acum la efectul economic al ciberneticii. Nu este vorba numai de enumerarea sau sistematizarea a ceea ce poate da cibernetica industriei, transporturilor, telecomunicațiilor etc. Este vorba despre rezultatul de ansamblu, care poate fi definit fără consemnarea și totalizarea aplicațiilor concrete ale mașinilor cibernetice în domeniul producției.

Un asemenea rezultat de ansamblu este automatizarea proceselor de producție nestaționare și un dinamism superior al producției. În deceniul al patrulea, cînd a început folosirea pe scară relativ largă a fotoelementilor, asupra multor oameni a produs o impresie puternică un fotoelement cu ajutorul căruia raza slabă a unei stele îndepărtate punea în funcțiune sistemul de iluminare și instalația de forță ale unei mari expoziții internaționale. Pe atunci perspectivele automatizării erau puse în legătură cu închiderea și întreruperea unor circuite cu curenți puternici sub acțiunea apariției, dispariției sau modificării intensității unor raze de lumină. Astăzi este vorba de o transformare cu mult mai radicală și mai generală a producției, a culturii și a experimentului științific. Semnalele și procesele electronice declanșate de ele constituie începutul unei serii de procese electronice în care fiecare dintre acestea este legat de cel precedent asemenea verigilor unui raționament logic sau matematic. Aceste lungi serii capătă caracterul unor calcule, al rezolvării unor sisteme de ecuații, al găsirii de noi construcții optime, de noi procese tehnologice, de fluxuri optime ale încărcăturilor, de amplasarea optimă a întreprinderilor industriale etc. În comparație cu prima jumătate a secolului, chiar prima generație de mașini electronice putea constitui un fundament pentru o prognoză principial nouă cu privire la caracterul muncii. Mașinile cibernetice nu se mărginesc să-l înlocuiască pe om în operațiile care constau în conectarea și deconectarea unui dispozitiv electromagnetic. O asemenea înlocuire o puteau realiza deja releurile fotoelectrice din anii deceniilor IV—V. Mașinile cibernetice s-au dovedit capabile să realizeze mai mult, și aceasta chiar

din prima lor generaţie. Ele îl pot înlocui pe om în funcţiile lui dinamice. Să explicăm această noţiune. În producţie, ca şi în natură, întîlnim o serie de procese care pot fi considerate — fiecare în parte — drept repetarea multiplă a unui anumit act invariabil. Acestuia i se suprapune un alt proces care constă în modificarea actului menţionat, în aşa fel încît acesta nu se mai repetă în forma lui invariabilă. Fie procesul repetării invariabile o mişcare de inerţie uniformă şi rectilinie. În acest caz, actul repetat este parcurgerea fiecăruia din segmentele egale în care este împărţită traiectoria în decursul unui anumit timp. Invarianta este aici viteza. Acum să ne închipuim că acestei mişcări a corpului i se suprapune un alt proces : modificarea vitezei, acceleraţia. Acest proces este dinamic în raport cu mişcarea de inerţie, dar şi în cadrul lui există o invariantă, care este acceleraţia. Dacă acceleraţia creşte în timp, avem de-a face cu un proces dinamic de ordin superior. Dacă aceste procese sînt continue, le corespund derivate de ordin tot mai mare ale drumului parcurs în raport cu timpul : prima este viteza, a doua — acceleraţia, a treia — viteza de creştere a acceleraţiei etc.

În producţie ne putem imagina repetarea aceloraşi operaţii ; apoi procesul dinamic al trecerii de la un tip de operaţii la altele, paralel cu modificarea construcţiei maşinilor şi a metodelor tehnologice, menţinîndu-se însă schema chimică sau fizică ; apoi schimbarea acestei scheme însăşi. Despre acestea am vorbit la începutul lucrării noastre. E de presupus că cibernetica va regla treptat procese dinamice de un ordin tot mai mare.

Fotoelemenţii din deceniile IV—V au reglat trecerea automată de la o operaţie la alta, dar nu au modificat acel ansamblu de operaţii din care era format procesul tehnologic. O altă funcţie, dinamică prin caracterul ei, constă din trecerea la un nou ansamblu de operaţii, la o nouă tehnologie, pe baza construirii de noi mecanisme. Această funcţie poate fi automatizată într-o măsură mai mare cu ajutorul maşinilor cibernetice, care, pornind de la nişte programe dinainte trasate, calculează parametri mai perfecţi ai mecanismelor şi ai

metodelor tehnologice. De aici rezultă trecerea la un dinamism de ordin superior în producție și concentrarea muncii umane asupra unor funcții mai dinamice.

Mașina cibernetică poate să comande un proces stabilizat, staționar, executînd o serie de operații relativ simple. Dacă însă obiectul dirijării este un proces nestaționar, reglarea lui cere lanțuri mai complexe de transmitere a informației. Cînd instalația cibernetică schimbă încărcătura agregatelor industriale, modifică fluxurile de încărcături, redistribuie fluxurile de energie într-un sistem de centrale electrice etc., toate acestea reclamă lanțuri logico-matematice deosebit de lungi. Pentru ca o asemenea redistribuire a sarcinilor să se desfășoare continuu, este necesară o mare viteză a operațiilor elementare. De aceea folosirea instalațiilor rapide permite automatizarea unor procese tot mai dinamice, trecerea de la reglarea unor procese staționare la optimizarea continuă a proceselor în funcție de schimbarea condițiilor. Urmează apoi o optimizare care se efectuează nu prin redistribuirea sarcinilor agregatelor existente, ci prin trecerea la agregate mai perfecte, deci proiectarea și fabricarea automată de noi mașini. În acest caz lanțurile de procese elementare din celulele instalațiilor cibernetice trebuie să transmită informația privind stările succesive și efectele unor sisteme alcătuite dintr-o multitudine de piese, trebuie să confrunte un număr de variante care cresc în avalanșă. E ceva analog cu un joc de șah cu un număr foarte mare de pătrățele și piese și cu reguli de joc care se schimbă neîncetat, pe deasupra fără să existe pauze pentru pregătirea mutărilor, jocul desfășurîndu-se continuu, neîntrerupt.

Din cele de mai sus putem să ne facem o idee despre efectul posibil al trecerii de la tuburile cu vid la semiconductori în mașinile cibernetice. Acest efect, deși nu este vizibil pînă în cele mai mici detalii, poate fi caracterizat sintetic : instalațiile cibernetice de astăzi permit automatizarea nu numai a proceselor staționare și nu numai a proceselor dinamice de redistribuire a sarcinilor agregatelor, ci și a proceselor dinamice de

proiectare a unor agregate noi şi de modificare a tehnologiei producţiei.

Putem prevedea că în cursul deceniului al optulea, se va încheia automatizarea proceselor staţionare şi a reglării lor. Tulburările accidentale ale ritmului normal şi ale succesiunii staţionare a operaţiilor vor fi înlăturate în mod automat. Dar funcţia principală a mecanismelor cibernetice trebuie să fie reglarea proceselor dinamice. Printre acestea se numără în primul rînd redistribuirea sarcinilor, de care am mai pomenit. În acest caz reglarea cuprinde rezolvarea unor probleme de felul următor : cum trebuie modificat gradul de încărcare a diverselor agregate pentru ca funcţionarea lor să corespundă în modul optim necesităţilor ? Să luăm drept exemplu un sistem de centrale electrice conectate prin linii de înaltă tensiune. Pentru ca la aceste centrale cazanele să funcţioneze normal şi pentru a se înlătura în mod automat tulburările accidentale ale regimului sînt suficiente nişte dispozitive relativ simple : termoelectrice, fotoelectrice etc. Redistribuirea sarcinilor dintre centrale şi agregate în cazul unui consum variabil de energie sau în alte condiţii variabile reclamă însă rezolvarea rapidă a unor probleme matematice mai complicate şi executarea automată a soluţiilor optime. Această observaţie este valabilă şi pentru aprovizionarea cu gaze, cu apă, pentru sistemele de termoficare, pentru traficul de încărcături şi într-o măsură tot mai mare pentru producţia de combustibil şi materie primă, pentru procese tehnologice continue din întreprinderile industriale etc. Putem prevedea că într-un deceniu sau două în toate ramurile principale ale producţiei va fi asigurată reglarea dinamică sub forma redistribuirii sarcinilor, cu ajutorul unor dispozitive cibernetice.

Dar acesta este doar primul obiectiv integral al ciberneticii în domeniul producţiei. Redistribuirea sarcinilor conferă dinamism unor procese de producţie, funcţionării unor agregate şi întreprinderi, dar producţia în ansamblu rămîne un proces staţionar şi parametrii integrali care o caracterizează (inclusiv parametrul principal — productivitatea muncii sociale) nu se schimbă. Nu are loc o evoluţie dinamică unitară şi ireversibilă

pentru întreaga producţie — cu alte cuvinte un progres tehnic şi tehnico-economic.

O asemenea evoluţie este asigurată prin trecerea la noi construcţii şi la noi procese tehnologice. Îşi poate oare asuma cibernetica rezolvarea unei asemenea sarcini ? În acest punct trebuie să înlăturăm în primul rînd unele neînţelegeri posibile. Nu e vorba în nici un caz de o realizare a maşinii lui John von Neumann, adică a unei maşini cibernetice care să se autoreproducă sub forma unei serii de maşini cu aceiaşi parametri. Nu e vorba nici de un proiectant cibernetic care să-l elimine pe proiectantul viu. Dar acest proiectant viu se va folosi de maşini cibernetice care vor găsi cu mare rapiditate (la scara temporală a muncii de concepţie, practic instantaneu) parametrii concreţi care să corespundă fiecărei noi variante a noului agregat ce se cere elaborat, vor calcula efectul fiecărei variante, le vor confrunta şi vor găsi varianta optimă. Nu are nici o importanţă cît de numeroşi vor fi proiectanţii vii care se vor sluji de aceste maşini cibernetice. Important este cu totul altceva. Ritmul activităţii de proiectare şi de elaborare de noi procese tehnologice va creşte de multe ori. Progresul tehnic va căpăta un caracter continuu, chiar dacă vom considera o ramură oarecare a producţiei şi vom urmări evoluţia ei în decursul unor intervale relativ mici.

Cînd este vorba de producţie şi de evoluţia indicatorilor ei tehnici şi tehnico-economici, noţiunea de continuitate are un sens specific. Se schimbă mediile statistice, de pildă indicatorii medii pe întreaga producţie în ansamblu. Cu această precizare (pentru producţia în ansamblu), chiar şi în prima jumătate a secolului nostru nivelul tehnic a crescut în unele perioade în mod continuu. Acum cibernetica folosită în serviciile de concepţie, în laboratoarele tehnologice şi în institutele de proiectare ne permite să realizăm un progres tehnic continuu nu numai pe întreaga producţie în ansamblu, ci şi pe diversele ei ramuri.

O cotitură radicală în mersul progresului tehnic o va constitui trecerea de la creşterea continuă a nivelului tehnic la accelerarea continuă a acestui proces. Despre

aceasta s-a mai vorbit în capitolul introductiv al acestei lucrări. Baza unei asemenea accelerări este apariţia de noi şi noi scheme fizice şi chimice ideale, esenţa progresului tehnic constînd în apropierea de aceste scheme. De ce depinde apariţia de noi scheme ideale, adică progresul ştiinţei în domenii legate direct de probleme practice ? Ritmul progresului ştiinţific în aceste domenii depinde de funcţionarea eficientă a conexiunii inverse, de aplicarea rezultatelor cercetării în producţie, de cercetările fundamentale care luate în sine nu dau direct rezultate aplicative, de viteza de transmitere a informaţiei ştiinţifice şi într-un grad foarte mare de rapiditatea cu care concluziile teoretice sînt confruntate cu experienţa. Cibernetica îşi are rolul său în cadrul tuturor acestor factori care accelerează progresul ştiinţific. Ne vom opri doar la ultimul, la rapiditatea verificării experimentale a concluziilor teoretice. În condiţiile actuale ale matematizării aproape a tuturor domeniilor ştiinţei, drumul de la o concepţie teoretică oarecare pînă la concluziile care pot deveni obiectul unei verificări experimentale trece în majoritatea cazurilor prin lungi calcule. Uneori ele reclamă din partea calculatorilor luni şi chiar ani de muncă. Maşinile execută asemenea calcule în cîteva minute. Folosirea tehnicii de calcul este una din bazele care ne permit să prevedem pentru ultimele decenii ale secolului al XX-lea un flux practic continuu de noi scheme fizice şi chimice care vor deveni scheme directoare ale progresului tehnic.

Progresul ştiinţific nu determină prin viteza sa viteza progresului tehnic, ci acceleraţia acestuia. Progresul tehnic poate să posede o anumită viteză şi să aibă practic un caracter continuu chiar dacă schemele ideale spre care tinde creaţia tehnică, activitatea de concepţie şi tehnologică rămîn neschimbate. Dacă însă se schimbă continuu înseşi schemele ideale, progresul tehnic capătă o acceleraţie continuă.

Putem oare prevedea o dinamizare şi mai mare a producţiei în sensul creşterii acceleraţiei înseşi a progresului ? Această problemă o vom discuta separat. Deocamdată să nu mergem atît de departe. Pentru un asemenea ritm al progresului tehnic este necesar



ca însăşi creaţia ştiinţifică să se apropie cu o viteză mai mare, adică în mod accelerat, de idealurile ei, ca înseşi idealurile ştiinţei să aibă un caracter dinamic. Ce înseamnă „idealurile ştiinţei"? Se poate spune că acestea au devenit dinamice? Sau vor deveni în viitor? La aceste întrebări va trebui să dăm în curînd răspunsuri. Deocamdată menţionăm că activitatea celor ce cugetă la idealurile finale ale cunoaşterii ştiinţifice nu va deveni într-un viitor previzibil funcţie a unor instalaţii cibernetice, cu toate că ea se va baza într-o măsură tot mai mare pe calcule şi observaţii efectuate de maşini electronice. Imaginea unui robot cibernetic care raţionează despre principiile fundamentale şi idealurile ştiinţei rămîne o fantezie, cel puţin pentru secolul al XXI-lea. Dar despre aceste principii şi idealuri vom vorbi mai tîrziu.

Din cele de mai sus se vede că înlocuirea omului într-o funcţie oarecare a lui reprezintă caracteristica cea mai modestă a influenţei ciberneticii asupra caracterului muncii. Aspectul esenţial constă în transformarea calitativă a muncii omului şi într-o extindere gigantică a sferei ei de aplicare, în lărgirea domeniului de forţe ale naturii pe care omul le poate coordona conform scopurilor sale. Transformarea muncii constă în concentrarea ei asupra unor funcţii cu caracter tot mai creator. Ierarhia proceselor dinamice — modificarea regimului şi a sarcinilor agregatelor, modificarea tehnologiei, modificarea schemelor ideale, adică a funcţiilor directoare ale progresului tehnic, modificarea principiilor ştiinţei — iată scara ale cărei trepte omul le urcă una după alta. Munca a comportat întotdeauna componente dinamice superioare: evoluţia tehnicii, a ştiinţei, a principiilor fundamentale. Aceste modificări au avut însă caracterul unor cotituri discrete. Treptele progresului sînt reprezentate de momente în care o funcţie tot mai dinamică se realizează ca un proces discontinuu. Prognoza pentru anul 2000 include trecerea la o *acceleraţie continuă* a progresului tehnic pe baza apariţiei continue de noi şi noi scheme ideale ale ciclurilor fizice şi chimice.

Nu este greu să ne dăm seama că funcţiile dinamice superioare nu se realizează fără funcţiile dinamice de

un nivel inferior. Cercetările științifice vor constitui sursa accelerării progresului tehnic cu condiția să existe servicii de concepție, laboratoare tehnologice și institute de proiectare care să funcționeze ca receptoare ale noilor scheme ideale menite să accelereze progresul tehnic și ca aceste instituții și laboratoare să aibă capacitatea și nivelul necesar pentru a dezvolta aceste scheme, a calcula variantele realizării lor tehnice, a compara aceste variante și a alege variantele optime. Bineînțeles, aceste calcule, comparații și selecții trebuie realizate cu acea mare rapiditate care poate fi atinsă cu ajutorul calculatoarelor electronice.

La rîndul lor, serviciile de concepție, laboratoarele și institutele de proiectare își realizează funcția dinamică dacă industria este în stare să transforme cu iuțeală foarte mare noile proiecte în serii de agregate utilizabile în producție. În toate cazurile — atît în procesul realizării descoperirilor științifice, cît și în procesul asimilării de noi tipuri de mașini, instalații și procese tehnologice — elementul necesar al acestor activități îl vor constitui instalațiile cibernetice care traduc schemele ideale în limbajul parametrilor noilor proiecte iar pe aceștia din urmă în indicatori de exploatare tehnico-economici, care compară acești indicatori și oferă soluții optime. Tocmai cibernetica transformă știința, tehnica și exploatarea instalațiilor într-un tot unitar, fără intervale de timp care să despartă aceste componente, și totodată într-un complex în cadrul căruia diversele componente nu se pot realiza unele fără celelalte.

7
„Ştiu cum“ şi „ştiu unde“

Asistăm în secolul atomic la două tendinţe fundamentale. Una este direct legată de relaţia einsteniană $E=mc^2$. Ea constă în includerea energiei nucleare în balanţa energetică. Prognoza pentru anul 2000 prevede transformarea energiei atomice în componenta preponderentă a balanţei electroenergetice. Tendinţa a doua constă în folosirea proceselor cuantice în tehnică, în liniile de comunicaţie, în modificarea dirijată a naturii ereditare a organismului şi în cibernetică. Credem că în momentul cînd energia atomică va deveni componenta preponderentă a balanţei electroenergetice laserele vor constitui un factor esenţial al tehnicii la scara economiei naţionale şi poate chiar factorul preponderent, radiogenetica îşi va găsi o largă aplicare în practică, iar instalaţiile cibernetice vor asigura o „filogeneză“ accelerată a maşinilor şi procedeelor tehnologice. O asemenea supoziţie ne permite să vorbim despre o prognoză complexă care cuprinde economia naţională în ansamblu şi despre un program complex al secolului atomic. Un asemenea program, după cum s-a mai spus, este întrucîtva analog prognozei complexe

care a stat la baza planului GOELRO în deceniile III—IV, prognoză care a cuprins energetica, tehnica, transportul, agricultura și modificarea caracterului muncii.

Din includerea energiei atomice în balanța energetică și din aplicațiile principale, enumerate mai sus, ale proceselor cuantice, rezultă dinamismul economiei, și anume un dinamism de rang superior : nu numai o creștere continuă a nivelului tehnic al producției, ci și o accelerare continuă a progresului tehnic. În mod corespunzător crește, se accelerează creșterea productivității muncii. Chiar dacă ritmul de creștere a populației rămîne constant, creșterea accelerată a productivității muncii înseamnă o mărire accelerată a proporțiilor producției. Vom examina acum care este rolul informației în realizarea creșterii indicatorilor calitativi și a proporțiilor producției.

În ultimele două decenii, teoria informației s-a transformat într-o disciplină autonomă. Ea înglobează în cadrul unor noțiuni cu caracter general informația în sensul vechi, gnoseologic, parte integrantă a cunoașterii umane, și procesele obiective de concentrare a sistemelor ordonate care fac să scadă dezordinea entropică a existenței. *Entropia* reprezintă măsura dezordinii în mișcările moleculare. Dacă de-a lungul unei bare metalice se constată peste tot aceeași temperatură, putem spune că în interiorul ei nu există o ordonare macroscopică a mișcărilor moleculare. Dimpotrivă, o asemenea ordonare macroscopică există cînd un capăt al barei este mai cald decît celălalt, ceea ce înseamnă că la un capăt este concentrat un număr mai mare de molecule rapide decît la celălalt. Măsura ordonării macroscopice a mișcării moleculelor, măsura existenței unor procese de nivelare a temperaturii, cu alte cuvinte entropia negativă este denumită *negentropie*. Noțiunile de entropie și negentropie pot fi generalizate și utilizate nu numai cu privire la mișcările moleculelor și la denivelările de temperatură, ci și referitor la alte procese dezordonate (entropie) și la ordonarea lor (negentropie).

La mijlocul secolului nostru, aceste noţiuni au fost utilizate cu mare eficienţă în teoria comunicaţiilor. *Semnalul,* adică un ansamblu de microprocese ordonate (de pildă anumite modulaţii ale undelor sonore sau electromagnetice), este o noţiune negentropică ; lui i se opune şi îi stă în cale zgomotul, respectiv nişte microprocese entropice, neordonate. Linia de comunicaţie transmite energia şi impulsurile, dar nu în aceasta constă misiunea ei. Transportul energiei are loc cu ajutorul unor mijloace de transmisie mecanică sau al unor reţele de înaltă tensiune. Liniile de telefon şi undele radio, dimpotrivă, transmit informaţia, şi cu cît mai puţină energie se transmite cu acest prilej, cu atît mai bine funcţionează linia de comunicaţie. Transmiterea informaţiei nu se reduce la transmiterea energiei, deşi nu poate fi separată de aceasta. Vorbirea nu se reduce (sau cel puţin nu totdeauna se reduce) la transmiterea energiei unor oscilaţii aeriene, la vibraţii ale aerului. Respectiv radiocomunicaţia nu se reduce totdeauna la vibraţiile eterului.

Nu este cazul să definim aici noţiunea de informaţie. Ştim deja că ea are un caracter generalizat şi poate fi aplicată, de pildă, dispozitivelor cibernetice şi chiar, după cum am văzut, structurii moleculelor de ADN şi ARN, care conţin informaţia despre caracterele ereditare ale organismelor.

În capitolul consacrat ciberneticii am considerat două tipuri de informaţie şi respectiv două tipuri de negentropie.

În primul caz, „codul genetic" (această noţiune biologică poate fi generalizată şi pusă între ghilimele) nu provoacă lungi lanţuri de procese elementare care să permită să vedem unde duce cutare sau cutare variantă a evoluţiei viitoare şi să alegem de pe acum, pe baza conexiunii inverse, varianta optimă. O asemenea posibilitate de conexiune inversă nu există în codul genetic fără ghilimele, în informaţia genetică conţinută în molecula de ADN şi în molecula de ARN. În acest caz evoluţia organismului şi a speciei se realizează fără un model dinamic prealabil, iar molecula nu compară diversele variante ale evoluţiei.

Cu un alt tip de informaţie avem de-a face atunci cînd în creier sau în dispozitivul cibernetic apar, practic concomitent, diversele variante ale evoluţiei care o anticipă, ceea ce ne permite să alegem una dintre ele.

O asemenea informaţie condiţionată sau informaţie-prognoză („dacă ar avea loc cutare proces acum, s-ar produce cutare fenomene în viitor") este caracteristică muncii, tehnicii, producţiei. Cu alte cuvinte, este caracteristică activităţii orientate spre un scop, tip de activitate care, cum spunea Marx, deosebeşte pe arhitectul cel mai prost de albina cea mai perfectă [1], deşi aceasta îl întrece în ceea ce priveşte confecţionarea precisă a fagurilor. În creierul omului se formează imaginea a ceea ce se va realiza în cazul unei anumite succesiuni a actelor de muncă şi el poate alege succesiunea care va da varianta optimă. Dispozitivul cibernetic poate realiza o informaţie-prognoză analogă, poate alege varianta optimă, imitînd în felul acesta funcţia omului.

Să considerăm funcţia menţionată sub raportul negentropiei. Munca face să crească negentropia. Structura macroscopică creată prin muncă — indiferent dacă e vorba de direcţionarea ordonată a fibrelor dintr-o ţesătură în locul întîlnirii lor dezordonate în bumbac, de distribuirea ordonată a căldurii în aşa fel ca în cazan să fie mai cald decît în condensator şi în casă mai cald decît în afara ei, sau de distribuirea ordonată a metalului într-un aliaj, într-o piesă metalică etc. — posedă o negentropie mai mare. Ea are loc pe seama unei creşteri a entropiei. Dar nu această creştere a entropiei este caracteristică muncii. Desigur, într-un sistem închis negentropia scade şi, respectiv, entropia creşte. Dar producţia nu este un sistem închis. Producţia înseamnă o creştere a negentropiei, compensată de micşorarea negentropiei, respectiv creşterea entropiei într-un sistem mai vast.

Procesele negentropice de tipul căilor de progres tehnic care se conturează în prezent sînt legate de variante ale prognozelor şi de alegerea variantei optime.

[1] K. Marx, F. Engels, *Opere*, vol. 23, Editura Politică, Bucureşti, 1966, p. 191.

Energetica atomică face să crească diferențele de temperatură într-o măsură care nu exista în energetica clasică. Laserele transformă energia difuză a radiației spontane a lămpilor în energia concentrată a radiației stimulate, care realizează o temperatură de 10^{20} — 10^{25} grade. Radiogenetica ne permite să trecem de la multitudinea de mutații spontane, dispersate și dezordonate, la serii ordonate, dirijate de mutații provocate în mod artificial. Cibernetica face să crească gradul de ordonare a lucrurilor, ea compară lanțuri foarte lungi de procese ordonate, alegînd rezultatul optim.

Seriile negentropice enumerate ordonează nu numai succesiunea proceselor fizice, ci și succesiunea modificărilor acestei ordini. De aceea informația genetică în domeniul tehnicii cuprinde nu numai constatări de tipul : „dacă dăm drumul unui curent printr-un conductor dat, acesta se va încălzi și va emite lumină", ci și constatări de tipul : „lumina emisă de conductorul prin care trece curentul depinde în modul următor de alegerea metalului din care este făcut conductorul". Asemenea constatări ne permit să trecem în lămpile cu incandescență de la un metal la altul, să calculăm rezultatele și să alegem variante noi, mai perfecte. Ceea ce am denumit informație genetică cuprinde, de asemenea, constatări de tipul următor : „eficiența fluxului de lumină depinde în cutare mod de trecerea la noi scheme de principiu pentru stimularea luminii". O asemenea informație ne permite să formulăm prognoze (adică să prevedem efectele) și să planificăm (adică să determinăm varianta optimă din mai multe previzibile). De pildă, trecerea de la lămpile cu incandescență la lămpile cu descărcări în gaze.

Dacă nu crește numai nivelul tehnic al producției (prin apropierea de schema ideală), ci are loc și o accelerare a progresului tehnic (prin trecerea la o schemă fizică nouă), crește și volumul informației necesare pentru o asemenea dinamică superioară. Este vorba de informația care asigură alegerea rezultatului optim al ciclurilor de producție. Sistemul de dispozitive de control și de reglare ne oferă informația privitoare la modificarea vitezelor, tensiunilor, presiunilor, temperatu-

rilor, a componenţei materiilor prime, a parametrilor produselor fabricate etc. Acest sistem conţine totodată informaţia despre diversele normative, despre parametrii care nu trebuie încălcaţi. Aparatura de control şi reglare primeşte semnale care anunţă încălcarea regimului normal şi orice abatere a parametrilor de la normative. Aceste semnale determină în mod automat apropierea parametrilor efectivi de normative. Nu ni se oferă însă informaţia cu privire la efectele la care va duce modificarea regimului şi deci nu putem alege modificările optime. Rolul variantei optime revine în cazul examinat regimului constant, parametrilor constanţi. Reglarea apropie parametrii reali de aceşti parametri constanţi nu pentru că ei sînt cei mai buni posibili, ci pentru că ei corespund procesului tehnologic stabilit. În acest caz informaţia are un caracter static.

O informaţie dinamică, care să ne comunice rezultatele modificării regimului şi ale modificării procesului tehnologic, permite rezolvarea unor probleme extreme, obţinerea variantelor optime. Într-o producţie dinamică, în care are loc modificarea practic continuă a nivelului tehnicii, obţinerea unei asemenea informaţii devine o sarcină permanentă a producţiei. Întreprinderea nu trebuie numai să fabrice un anumit produs, ci şi să acumuleze neîncetat informaţie despre metodele optime de trecere la un nou nivel al productivităţii muncii. Desigur, un flux şi mai mare de informaţie de acest gen va fi caracteristic birourilor de concepţie, laboratoarelor tehnologice şi institutelor de proiectare.

Producţia de informaţie dinamică, respectiv producţia de progres devine o componentă din ce în ce mai importantă a industriei. Este posibil ca în jurul anului 2000 ea să egaleze nivelul principalelor ramuri ale producţiei : energetica, transporturile, construcţia de maşini etc. Din ce se compune informaţia dinamică ?

După cum s-a mai spus, ea cuprinde parametrii noilor construcţii şi ale noilor procese tehnologice, rezultatele calculate şi dinamica trecerii la o tehnică nouă şi la noi scheme ideale precum şi determinarea construcţiilor, a proceselor tehnologice optime şi a schemelor dinamice optime ale asimilării lor.

Această informaţie include în primul rînd ceea ce se numeşte *know how* — „ştiu cum". De obicei acest termen este atribuit informaţiei cu privire la condiţiile şi la cele mai bune căi de asimilare a noilor metode tehnologice. Acumularea informaţiei de tipul *know how* este rezultatul unei practici îndelungate, al experimentării efectuate în condiţii de uzină, al experienţei oferite de staţia pilot şi de perioada care urmează după primele probe etc. Dar expresiei *know how* i se poate atribui un sens mai general : „ştiu cum trebuie să trec la o productivitate superioară a muncii", cu alte cuvinte în informaţia *know how* se pot include atît parametrii înşişi ai noilor construcţii, cît şi diversele reţete tehnologice.

Există şi un alt flux de informaţie dinamică. Creşterea productivităţii muncii duce la mărirea volumului producţiei, la reproducţia lărgită şi la valorificarea de noi resurse de materii prime şi energie. La aceleaşi rezultate duc nemijlocit progresul tehnic şi într-o măsură şi mai mare progresul ştiinţific şi accelerarea progresului tehnic. Reproducţia lărgită cere o extindere a resurselor de materii prime. Această extindere este posibilă pe baza acumulării rapide a informaţiei despre noi baze energetice, de materie primă şi de produse alimentare. Este necesar să ştim unde se pot găsi cărbuni, petrol, gaze, uraniu, toriu, fier, materii prime chimice etc. Informaţia asupra acestor resurse poate fi numită, prin analogie cu *know how* — „ştiu cum" — *know where* — „ştiu unde". Ea este cerută astăzi în cantităţi foarte mari. În condiţiile unei creşteri accelerate a productivităţii muncii şi ale unui spor rapid de populaţie, atragerea de resurse naturale în producţie are de asemenea un ritm accelerat. În această privinţă secolul atomic se caracterizează prin epuizarea resurselor, în special printr-o *epuizare relativă,* adică prin necesitatea de a se trece la rezerve mai puţin avantajoase, de cele mai multe ori mai puţin concentrate. De regulă exploatarea acestora cere consumuri specifice de energie mai mari. Această trecere este compensată de ieftinirea energiei. În următoarele decenii va căpăta o mare importanţă o altă formă a epuizării relative : trecerea la rezerve mai

puţin prospectate, mai puţin cunoscute. În acest sens problema epuizării resurselor este o problemă de informaţie, de cunoaştere a resurselor noi. Tocmai aceasta explică transformarea în curs de realizare a informaţiei „ştiu unde“ într-un domeniu de producţie (a informaţiei) de foarte mare amploare ca volum şi consum de mijloace. Ca şi informaţia „ştiu cum“, informaţia „ştiu unde“ — cercetările geologice, pedologice, hidrologice şi geografice, precum şi elaborarea disciplinelor teoretice respective — devine un capitol al balanţei muncii comparabilă cu principalele domenii ale economiei naţionale. Iată de ce informaţia de acest tip, ca şi informaţia de tipul „ştiu cum“, posedă *valoare,* în ea fiind materializată o parte a muncii omogen distribuite.

Să încercăm să dezvoltăm şi să concretizăm întrucîtva aceste succinte consideraţii cu privire la problema informaţiei din secolul atomic. În primul rînd, cîteva cuvinte despre interacţiunea dintre informaţia de tipul „ştiu cum“ şi informaţia de tipul „ştiu unde“. Această interacţiune are un caracter destul de complex, înglobînd uneori retroacţiunea. Informaţia cu privire la resurse (de tipul „ştiu unde“) poate constitui un argument pentru schimbarea politicii tehnologice, pentru modificarea tehnologiei şi, implicit, pentru căutarea unei informaţii noi de tipul „ştiu cum“. Dar de cele mai multe ori rolul de variabilă independentă îl are informaţia de tipul „ştiu cum“.

Afinitatea dintre noţiunile de informaţie şi negentropie se vede foarte clar atît în investigaţiile de tipul „ştiu cum“ cît şi în cele de tipul „ştiu unde“. Chiar dacă atribuim informaţiei sensul tradiţional, în ambele cazuri ea reprezintă o informaţie cu privire la negentropie, la o anumită ordonare macroscopică. Să considerăm energia nucleară. Ea reprezintă, prin originea ei, prin natura ei fizică, energia de legătură a nucleonilor în nucleul atomului. Existenţa nucleelor atomice, unirea particulelor elementare în aceste structuri mai complexe reprezintă o anumită negentropie, o anumită ordonare a lucrurilor. Fisiunea nucleelor este un proces entropic, dar el creează forme intermediare de negentropie, în primul rînd diferenţele de temperatură.

Orice sistem energetic foloseşte o anumită rezervă de negentropie. Energetica clasică foloseşte în ultimă instanţă diferenţa de temperatură dintre Soare şi Pămînt. Energetica neclasică foloseşte decalajul energetic dintre gradele de concentrare a energiei în diverse nuclee, deosebirile existente în „indicele de împachetare", în energia specifică a legăturii. Aceste decalaje, aceste forme de negentropie s-au format atunci cînd au apărut diversele elemente ale sistemului periodic.

Informaţia despre reacţiile nucleare a înglobat într-un anumit stadiu cunoştinţele despre transformarea toriului în uraniu 233, ceea ce permite construirea de reactoare reproducătoare pe bază de toriu. Această creştere a informaţiei de tipul „ştiu cum" a stîrnit interes pentru evaluarea rezervelor de toriu şi pentru verificarea acestor evaluări. S-a constatat că există mari cantităţi de toriu, ceea ce a stimulat în continuare cercetările şi construcţia de reproducătoare experimentale pe bază de toriu. Posibilitatea folosirii lor lărgeşte programul de noi prospectări ale toriului şi înlătură într-o măsură considerabilă problema epuizării rezervelor de uraniu, ba chiar suprimă pentru o perioadă îndelungată întreaga problemă a epuizării resurselor de combustibil nuclear.

Reacţia termonucleară ar schimba într-un mod şi mai profund modul în care se pune problema acestor resurse. Pentru sinteza termonucleară este nevoie de deuteriu. În cazul acestuia nu există nici o problemă de „a şti unde". În apa obişnuită deuteriul este conţinut într-o concentrare relativ constantă, şi anume 1 : 7 000 sau circa 0,014%.

Încă de pe acum sau, mai exact, în următoarele decenii, cheltuielile absolute pentru prospectarea de noi resurse de combustibil pentru centralele „clasice" vor putea să scadă substanţial ca urmare a reducerii costului energiei produse de centralele atomice. Centralele clasice care folosesc zăcăminte bogate şi uşor accesibile de combustibil vor mai susţine cu succes, cîtva timp, concurenţa cu centralele atomice. Dar în regiunile în care construirea de centrale clasice necesită noi lu-

crări prealabile de prospecţiune, asemenea centrale se vor dovedi probabil nerentabile.

Aceasta nu va face să scadă cantitatea de informaţie de tipul „ştiu unde", dar va schimba direcţia fluxurilor de informaţie de acest tip. Energetica atomică va face să crească anvergura prospectărilor de materii prime. Desigur că şi în acest domeniu se va putea renunţa la prospectarea resurselor de materii prime a căror amplasare este puţin cunoscută, dacă materia primă respectivă poate fi înlocuită cu o alta. Chimia se dezvoltă într-o direcţie care promite la limită să obţinem orice din orice, sau cel puţin ne promite să ştim cum se poate face aceasta. Dintre toate variantele — şi numărul lor creşte cu repeziciune — vor fi alese şi sînt alese de pe acum variantele care asigură cele mai mici cheltuieli. Asemenea variante vor cuprinde probabil ca materie primă iniţială toate sau aproape toate elementele sistemului periodic.

Se va ajunge astfel şi la folosirea a numeroase zăcăminte sărace. Problema epuizării relative a resurselor de materii prime este, după cum am mai spus, o problemă de energetică. Trecerea la zăcăminte sărace înseamnă respectiv trecerea la cheltuieli mai mari de energie pentru aceleaşi cantităţi de materie primă extrasă. Cercetarea subsolului pentru prospectarea majorităţii mineralelor pe care le ascunde, cercetare care cuprinde toate regiunile, modifică stilul informaţiei „ştiu unde", apropiind-o de cunoştinţele fundamentale din domeniul ştiinţelor naturii.

Avem de-a face aici cu una din cele mai importante caracteristici ale ştiinţei de la sfîrşitul secolului al XX-lea. Energetica secolului atomic foloseşte procese care se desfăşoară la scara nucleului. Electronica cuantică foloseşte frecvenţe care apropie pe cercetători de domenii spaţio-temporale minime. Cibernetica se află încă departe de scara nucleară, dar foloseşte de pe acum procese care au o durată de ordinul milionimilor de secundă şi va folosi în viitor procese cu o durată de ordinul miliardimilor de secundă. Cu cît sînt mai mici domeniile spaţio-temporale în care pătrunde cercetătorul, cu atît reuşeşte acesta să găsească şi să stabilească

negentropia în celule spațio-temporale mai mici și cu atît mai mult se apropie el de problemele care sînt considerate fundamentale în această epocă.

Această chestiune are însă și un alt aspect. Legile macroscopice care guvernează distribuirea elementelor din tabelul lui Mendeleev în scoarța Pămîntului sînt legate, pe de o parte, de legile chimiei cosmice, iar pe de altă parte de legile microcosmosului. Atunci cînd studiem în detaliu bogățiile subsolului (inclusiv distribuirea elementelor rare), diversele puncte de concentrare a zăcămintelor se unesc în linii, zone și regiuni și apare un tablou geochimic al distribuirii mineralelor, strîns legat de tabloul genezei lor. Or, problemele genezei moleculelor și a rețelelor cristaline îl conduc pe cercetăror spre problemele fundamentale.

Printre problemele principale cu care este confruntat sfîrșitul secolului al XX-lea se află și cea alimentară. S-ar putea spune că aceasta este problema numărul unu, dacă aceeași caracteristică nu ar fi valabilă și pentru problemele energeticii, ale tehnologiei, ale telecomunicațiilor și pentru o mulțime de alte probleme. Profităm de acest prilej pentru a sublinia (de altfel vom mai reveni la această idee) totala inconsistență a încercării de a ierarhiza importanța diferitelor componente ale acelei revoluții multilaterale, *esențialmente complexă,* pe care o avem în vedere atunci cînd vorbim despre secolul atomic. Între altele, trebuie să menționăm legătura dintre energetica atomică și problema alimentară. Aceasta din urmă este o problemă energetică, în primul rînd pentru că producția de îngrășăminte artificiale este o ramură de producție mare consumatoare de energie. Irigația consumă și ea mari cantități de energie. Notăm în treacăt că asigurarea apei dulci pentru populație și pentru necesitățile tehnologice este de asemenea o importantă problemă energetică. O scădere sensibilă a costului energiei electrice la sfîrșitul secolului va permite cel puțin dublarea producției agricole la hectar prin folosirea îngrășămintelor artificiale, va crea posibilitatea de a extinde suprafețele agricole prin irigații și de a aproviziona cu apă dulce regiunile

populate care se află la distanțe mari de apele curgătoare.

Să revenim la problema epuizării relative a resurselor naturale în ansamblu și a trecerii la utilizarea unor resurse cu un grad mai slab de concentrare, atît în domeniul materiilor prime, cît și în domeniul agricol sau în cel energetic. Extragerea de minereuri mai puțin bogate, exploatarea unor straturi de cărbune și mai puțin importante sau situate la adîncimi mai mari, valorificarea unor terenuri mai puțin fertile, construirea unor centrale electrice în puncte cu mici căderi de nivel și alte manifestări ale epuizării relative a resurselor vor face să crească investițiile specifice și cheltuielile de exploatare. Acest proces va fi compensat, iar uneori total înlăturat mulțumită progresului tehnic și îmbunătățirilor funciare. Există însă un aspect al problemei, strîns legat de producția de informație, care cere o atenție specială. E vorba de costul informației de tipul *know how* și al celei de tipul *know where*.

În ce privește terenurile agricole și resursele hidroenergetice, informația de tip „știu unde“ nu are o însemnătate hotărîtoare. În cazul minereurilor însă, importanța informației de acest tip este mai mare, iar în acela al cărbunelui, petrolului și gazelor și mai mare. E de presupus că pînă în anul 2 000 și foarte probabil și după aceea scăderea cheltuielilor specifice pentru informația „știu cum“ va fi însoțită de creșterea cheltuielilor specifice pentru informația „știu unde“. În ultimă instanță, aceasta se explică prin deosebirea de principiu dintre cele două forme de informație.

Informația despre parametrii, operațiile și regimul de lucru al unei mașini noi are totdeauna ca punct de plecare anumite condiții inițiale și un program, relativ precis cunoscute. Ni se indică obiectivele procesului tehnologic, o anumită gamă de materii prime utilizabile, după care căutăm printre schemele în principiu realizabile pe cea mai eficientă, printre soluțiile constructive realizabile pe cea mai bună, printre variantele de tehnologie tehnologia optimă. Avem deci o informație despre viitor, o informație-prognoză privind regimul, construcțiile și operațiile tehnologice optime.

Ea este completată prin experiment, prin probe, prin experiența de exploatare. Întotdeauna informația de tipul „știu cum" corespunde schemei : „fiind dați cutare parametri, dispozitivul, mașina, agregatul, secția, uzina vor lucra în cutare mod". O asemenea schemă poate fi realizată cu ajutorul unei instalații cibernetice care, primind în cadrul programului anumiți parametri inițiali, va prelucra informația și va obține variante de indicatori rezultanți, le va confrunta și va găsi varianta optimă. În felul acesta informația de tipul „știu cum" se poate baza pe o conexiune inversă neempirică realizabilă într-un mic interval de timp.

Altfel se prezintă schema în cadrul informației „știu unde". De data aceasta nu avem nici vreun program de prelucrare a informației, nici date inițiale precise. Distribuirea mineralelor în scoarța terestră este rezultatul unei evoluții geologice și geochimice despre care știm foarte puțin. Nici starea inițială a Pămîntului, nici structura geochimică și geologică actuală a scoarței lui nu le cunoaștem suficient de amănunțit pentru a putea obține date univoce cu privire la concentrările de bogății minerale. Informația despre aceste concentrări nu este pe de-a-ntregul empirică : se știe destul de mult despre frecvența învecinării unor minerale în zăcăminte, despre structura scoarței terestre. Nu este exclus ca după un timp să devină posibilă modelarea evoluției geologice și geochimice și calcularea coordonatelor zăcămintelor, a rezervelor și a caracteristicilor bogățiilor minerale pe care le conțin. În viitor ne vom apropia de această performanță și, probabil, destul de repede. Este însă vorba de o prognoză pe termen foarte lung.

Proiectantul, tehnologul, experimentatorul unei mașini care caută o informație de tipul „știu cum" privind parametrii și regimul optim se poate afla în mare inferioritate față de acea rațiune supremă laplaciană care, cunoscînd coordonatele și vitezele particulelor universului, putea să prezică în toate amănuntele viitorul acestuia. Căci el dispune de date referitoare la numai cîteva mii de piese, la cîteva mii de grade de libertate și la cîteva mii de parametri, care constituie informația inițială. Cu ajutorul acestei informații inițiale limitate

el va obține, recurgînd la cîteva milioane de operații logico-matematice, date precise cu privire la parametrii optimi ai procesului de producție. Cu totul alta este situația geochimistului, a geologului care dorește să obțină informația „știu unde". El trebuie să se apropie într-o măsură mult mai mare de rațiunea laplaciană, deși această rațiune supremă știe de la bun început cum sînt repartizați la un moment dat atomii în univers, pe cînd geologul de-abia trebuie să afle cum sînt distribuiți, ce-i drept nu în întregul univers, ci numai pe Pămînt. În principiu, această problemă poate fi rezolvată și ne putem imagina o mașină de calcul care înregistrează informația cu privire la rezultatele prospecțiunii și indică univoc coordonatele cele mai probabile ale zăcămintelor tuturor bogățiilor minerale căutate. Pentru moment însă informația de tipul „știu unde" are un caracter cît se poate de empiric, cere un volum foarte mare de muncă și costă foarte mult. Unul dintre obiectivele progresului tehnic în următoarele decenii va consta în înlocuirea parțială a informației „știu unde" prin informația „știu cum". Un exemplu de înlocuire de acest gen în secolul nostru este trecerea de la uraniu la toriu. Un alt exemplu care depășește, poate, cadrul secolului nostru îl reprezintă reacțiile termonucleare și folosirea deuteriului. În asemenea cazuri trecerea la o schemă tehnică nouă (uneori la un nou ciclu fizic) permite folosirea unor resurse despre care știm mai mult și care nu sînt amenințate direct de epuizarea relativă.

Așadar epuizarea relativă se manifestă în majoritatea cazurilor în creșterea valorii informației „știu unde". Este vorba de informația specifică, calculată la unitatea de greutate sau la un kilowatt-oră de energie. Cît despre informația „știu cum", în cazul ei valoarea unității de informație va scădea. În schimb va crește volumul informației. În ceea ce privește valoarea, adică munca materializată în ea, informația devine comparabilă cu ramurile principale ale economiei naționale. Ea se încadrează în schema fundamentală a repartizării muncii, în structura fundamentală a producției.

Să trecem la problema acestei structuri și a dinamicii ei.

Cele două fluxuri de informație despre care am vorbit — informația de tipul „știu cum" și cea de tipul „știu unde" — nu dau răspuns la o problemă cardinală, și anume la problema „pentru ce ?" Pentru ce avem nevoie de informație, pentru ce trebuie să trecem la noi construcții și procese, pentru ce trebuie să căutăm și să valorificăm noi resurse și noi concentrări de energie și materie primă ? Aceasta nu este de loc o întrebare metafizică, ci o *componentă economică* deosebit de importantă (sub raport practic) a problemei sensului vieții omenirii, a sensului evoluției ei, a sensului civilizației și al progresului. În ultimul capitol al lucrării noastre ne vom ocupa mai îndeaproape de această problemă mai generală. Acum avem nevoie de răspunsul la întrebarea „pentru ce ?" în legătură cu ritmul și direcțiile progresului tehnico-științific. Fără aceasta nu putem vorbi de optimizarea producției și de dinamica ei optimă.

Cînd este vorba despre o construcție optimă sau despre un proces tehnologic optim, adică despre un sistem de mărimi geometrice, fizice, tehnice și economice (distanțe, intervaluri de timp, mase, energii, viteze, accelerații, tensiuni, temperaturi, presiuni, cheltuieli specifice etc.), constatăm că nici una din aceste mărimi nu apare ca o normă directoare spre a cărei valoare maximă tinde proiectantul. Valoarea maximă trebuie s-o atingă o funcție rezultantă a acestor mărimi, în așa fel încît să-i corespundă valorile lor optime, construcția optimă, tehnologia optimă. Problema „pentru ce ?", de care nu poate fi separată munca, activitatea rațională a omului este rezolvată aici ca o problemă cu rezultat variabil, avînd drept scop găsirea valorii maxime sau minime a unei norme directoare. O construcție nouă se introduce pentru a se realiza cel mai mare randament cu mijloacele date sau cea mai mare viteză (accelerație, capacitatea de încărcare) la o unitate de putere etc. Într-o formă generală, norma directoare este creșterea negentropiei în condițiile unei creșteri compensatoare date a entropiei.

Să încercăm să punem aceeași problemă „pentru ce?" la scara unei economii naționale. Pare firesc să privim consumul drept țelul producției și să considerăm că valorii maxime a funcției pe care o reprezintă nivelul consumului trebuie să-i corespundă structura optimă a producției. Nu ne putem limita însă numai la alimentație, locuință, în general la ceea ce se numește consum neproductiv. O structură a producției care să asigure nivelul maxim de satisfacere a trebuințelor menționate pe baza unor investiții minime în domeniul energeticii, metalurgiei și construcțiilor de mașini ar asigura un nivel înalt al consumului numai pentru un timp foarte scurt ; de aceea ea nu poate fi considerată structură optimă. Așadar trebuie să avem în vedere nivelul general al consumului, inclusiv consumul productiv de materii prime, energie și mașini. Dar în acest caz consumul se prezintă ca o altă denumire a producției, iar structura lui ca o altă denumire a structurii producției și trebuie să căutăm din nou mărimea a cărei valoare maximă să indice corelația optimă dintre cheltuielile pentru diversele ramuri ale economiei naționale, structura ei optimă.

Drept normă directoare a economiei naționale poate fi luată productivitatea muncii sociale. O producție care prin structura ei asigură o înaltă productivitate a muncii exclude scăderea consumului după o scurtă perioadă de abundență ; ea cuprinde ramuri destul de importante ale energeticii, metalurgiei, construcției de mașini, industriei extractive pentru a garanta o abundență îndelungată și neexpusă scăderii. Totodată o productivitate înaltă a muncii comportă un nivel înalt de consum individual. Se pare că productivitatea înaltă a muncii îmbinată cu menținerea garantată a nivelului tehnic al producției poate fi considerată funcția directoare a producției : nivelului maxim al productivității muncii sociale îi corespunde structura optimă a producției.

Dar oare nivelul constant al productivității muncii este într-adevăr țelul producției ? Poate oare omenirea să se mulțumească cu un asemenea țel ? Nici cel mai înalt nivel al productivității muncii, dacă acest nivel

nu crește continuu, nu-l poate satisface pe om atunci cînd sub privirile unei generații se schimbă radical condițiile și efectele activității ei productive. Astăzi norma-obiectiv a producției trebuie să înglobeze, în afară de criteriul productivității muncii, criteriul creșterii acestei mărimi, indicatorul vitezei progresului tehnic și economic. Pentru structura economiei naționale aceasta înseamnă înglobarea unei noi ramuri importante, producția informației tehnologice și geologo-geografice.

Dar și aceasta este insuficient pentru omul din a doua jumătate a secolului al XX-lea. El nu este contemporanul numai al unei revoluții tehnice, ci și al unei revoluții științifice, și anume al unei revoluții științifice care, începînd cu mijlocul secolului, duce la *accelerarea* progresului. Indicatorii referitori la productivitatea muncii și la viteza de creștere a acesteia trebuie completați cu indicatorul accelerației ei. O producție staționară sau cvasi staționară (care se dezvoltă lent, cu un ritm imperceptibil pentru o generație) putea să aibă drept normă directoare nivelul avuției sociale. Norma directoare a unei producții care se dezvoltă uniform (cu accelerații sporadice) include viteza progresului. Pentru producția caracteristică secolului atomic, norma directoare comportă accelerația progresului.

Așadar răspunsul la întrebarea care este norma directoare a producției și a dinamicii ei indică o mărime ale cărei componente sînt productivitatea muncii sociale, viteza creșterii ei și accelerația creșterii ei. Nu vom preciza aici în ce fel componentele menționate constituie norma directoare a producției — *indicatorul economic fundamental* [1]. Scopul oricărei modificări, a structurii venitului național, a structurii consumului, constă în apropierea acestui indicator de valoarea lui maximă. În special, acesta este obiectivul investițiilor făcute în știință, în sistemul institutelor de proiectare, tehnologice și de concepție (informația de tipul „știu cum") și în prospecțiuni (informația de tipul „știu unde").

[1] Vezi B. G. Kuznețov, *Fizika i ekonomia*, cap. *Fundamentalnîi ekonomiceskii indeks*, Moscova, 1967, pp. 19—38.

Vedem că întrebarea „pentru ce?“ raportată la producţie şi la dinamica ei devine programul unui nou flux de informaţie. Trebuie să primim informaţie despre efectul fiecărei acţiuni economice, al fiecărei redistribuiri a eforturilor şi resurselor materiale. Trebuie să răspundem la întrebarea : *ce dă fiecare acţiune, în ce măsură face ea să crească nivelul de viaţă al oamenilor, în ce măsură face să crească dominaţia lor asupra naturii, în ce măsură grăbeşte ritmul progresului?* Cu alte cuvinte, care este efectul fiecărei acţiuni care tinde spre creşterea maximă a indicatorului economic fundamental ? La fluxul de informaţie tehnico-ştiinţifică („ştiu cum“) şi fluxul de informaţie cu privire la resursele naturale („ştiu unde“) se adaugă fluxul de informaţie economică : „ştiu pentru ce“.

Valoarea acestui tip de informaţie este extrem de mare. Este vorba de sensul progresului ştiinţific şi tehnic. El se caracterizează în prezent prin trecerea la energetica atomică. De aici denumirea de „secol atomic“. Secolul atomic se distinge printr-o tehnologie nouă, prin aplicarea electronicii cuantice, prin dirijarea evoluţiei organismelor vii. El se caracterizează printr-o importantă mutaţie în caracterul muncii. Secolul atomic poate fi numit şi secolul ciberneticii. El este de asemenea şi secolul informaţiei. Dar definiţiile secolului atomic se cer completate cu definiţia fundamentală a ţelului şi efectului tuturor tendinţelor ştiinţifico-tehnice enumerate. E vorba de informaţia economică, care permite optimizarea structurii producţiei. În secolul atomic posibilităţile ştiinţifice şi tehnice au devenit atît de mari, încît problema realizării lor optime a devenit pentru om cea mai cardinală problemă. De aceea secolul atomic este şi secolul economiei.

Optimizarea folosirii tendinţelor ştiinţifico-tehnice este o problemă de economie şi econometrie. Ea constă în următoarele. Periodic, cu ajutorul maşinilor de calcul şi ţinînd seama de ceea ce pot da tendinţele ştiinţificotehnice ce se conturează, se determină modificarea optimă a structurii producţiei şi a consumului. Cu acest prilej se ia în considerare cum vor influenţa această structură trecerea la energia atomică, dezvoltarea noii

tehnologii, folosirea noii automatici electronice, în ce măsură trebuie să se modifice bugetele familiilor, ce noi cerințe culturale trebuie să prevadă aceste bugete, în ce ritm trebuie să se dezvolte cercetările științifico-tehnice, prospecțiunile geologice, lucrările experimentale și teoretice referitoare la probleme fundamentale. Din marele număr de variante se alege varianta optimă, care asigură valoarea maximă a indicatorului economic fundamental, adică a nivelului productivității muncii, a vitezei și accelerației creșterii acestui nivel. Dacă ne imaginăm un spațiu cu n dimensiuni, în care fiecare punct este determinat de n coordonate, putem considera un asemenea punct drept o descriere a structurii producției. Coordonatele punctului reprezintă volumul fiecăreia dintre cele n ramuri planificate ale producției. Trecerea de la un punct la altul cu alte coordonate, este o trecere la o structură nouă, o modificare a structurii producției. Dacă vom uni diversele puncte care corespund seriei de ani care se vor succeda în viitor, vom obține o curbă care reprezintă dinamica structurii în acești ani.

Fără asemenea curbe, fără prognoze pentru anii următori nu putem determina tendințele producției, tendințele care duc la creșterea productivității muncii, la accelerarea acestei creșteri. De aceea prognozele constituie o metodă necesară pentru optimizarea *dinamică* a producției, care urmărește nu numai creșterea nivelului, ci și creșterea vitezei și a accelerației productivității muncii sociale; ea ține seama de *tendințe*, fiind orientată nu numai către o *stare* optimă, ci și către o *dinamică* optimă.

Dar, după cum am mai spus, prognozele care se bazează pe modificările ce intervin în știință nu pot fi univoce. Există o legătură destul de pronunțată între amploarea problemelor științifice și nedeterminarea efectului economic al soluționării lor. Cercetările de control din laboratoarele uzinale asigură un rezultat univoc : respectarea normativelor prescrise. Cercetările constructorilor și ale tehnologilor care proiectează noi mașini și procese apropie tehnica de ciclurile ideale, dar gradul de apropiere nu poate fi dinainte precizat. Cercetările științifice propriu-zise duc, fără îndoială,

la accelerarea progresului tehnic, dar rezultatele concrete ale fiecărei cercetări pot fi apreciate numai retrospectiv.

Pentru cercetările fundamentale nedeterminarea se accentuează. În cazul lor, experiența nu numai că poate să ducă la un răspuns neașteptat la întrebarea pusă naturii, dar poate să și demonstreze lipsa de sens a problemei. În general, după cum s-a mai spus, se poate considera că cu cît este mai dinamic efectul cercetării, cu cît este mai înalt ordinul derivatei nivelului productivității muncii (viteza, accelerația, viteza accelerației) asupra căreia acționează această cercetare, cu cît acest efect este mai profund, cu atît el este mai nedeterminat. Dar tocmai aceste efecte (nivelul, viteza, accelerația creșterii productivității muncii) reprezintă componentele indicatorului economic fundamental.

De aici caracterul inevitabil al optimizării graduale, treptate a structurii economice. Fiecare prognoză rezultă dintr-o constatare locală. Dar în virtutea nedeterminării rezultatelor tendințelor științifico-tehnice după un timp devine necesar să determinăm din nou aceste tendințe, să întocmim din nou prognoze asupra rezultatelor lor, să comparăm din nou diversele variante, să alegem din nou varianta optimă. Știința contemporană, capabilă să imprime productivității muncii o creștere continuă și chiar o accelerație continuă, care impune ca elemente constitutive ale normei directoare creșterea derivatelor productivității muncii, cere o optimizare graduală (practic neîncetată).

În acest proces fiecare nouă corectare a prognozelor și a dinamicii optime a producției va prevedea un anumit complex de modificări în domeniul energeticii, tehnologiei, transporturilor, comunicațiilor, informației, științei și culturii, modificări legate toate de un anumit termen. Optimizarea producției în zilele noastre este o optimizare complexă. Ea prevede cicluri mari, de lungă durată, cuprinzînd fiecare un complex de transformări previzibile, aflate într-o strînsă conexiune reciprocă și toate cam în același termen convențional. În prezent se conturează tocmai un asemenea ciclu : este vorba despre *finalizarea practică a științei neclasice*. El cuprinde,

după cum s-a mai spus, energetica atomică în calitate de componentă precumpănitoare a balanței energetice și o serie de alte prognoze.

În concluzie, trebuie să spunem cîteva cuvinte despre cauza principală a transformării informației într-una din ramurile de bază ale economiei naționale. Principala cauză constă în caracterul *neclasic* al științei, în tendința ei intrinsecă de a căuta și de a stabili armonia, negentropia, ordinea în microcosmos. Despre aceasta am mai vorbit. Statistica clasică ignorează microobiectele și microprocesele individuale. În mod corespunzător, ceea ce transformă energetica și tehnologia în ceva ordonat are, în cadrul clasic, un caracter prin excelență macroscopic. Să considerăm o serie de procese de producție legate între ele în așa fel încît fiecare determină caracterul procesului care urmează după el. Cărbunii ridicați la suprafață se încarcă în vagoane și sînt expediați la o centrală electrică. Negentropia materializată de concentrarea energiei chimice în cărbuni se transformă în negentropia diferenței de temperatură dintre cazan și condensator la centrala electrică, iar apoi într-o diferență de potențial electric. Energia este transportată cu ajutorul liniei de înaltă tensiune; împreună cu ea este transportată și negentropia, care determină direcția proceselor tehnologice la întreprinderile consumatoare. Legea conservării energiei nu certifică decît echivalența verigilor inițiale și finale ale transformărilor energetice, iar legea conservării materiei, echivalența masei materialelor de la care s-a pornit și a celor la care se ajunge în final. Dar procesele care au loc la fiecare stadiu în drumul de la mină la consumatorul de energie nu sînt determinate de energie, ci de negentropie, de ordonare, de diferențele de nivel. Într-un articolaș deosebit de interesant intitulat *De ce facem foc iarna,* Robert Emden scria : „Ca student am citit și am tras învățăminte din cartea lui F. Wald *Regina lumii și umbra ei.* Autorul avea în vedere energia și entropia. Cînd am ajuns să înțelegem mai profund lucrurile, am ajuns la concluzia că aceste două elemente trebuie să-și schimbe locurile. În uriașa uzină a pro-

celor naturale, principiul entropiei deţine postul de director, care indică genul şi modul de desfăşurare al tuturor tranzacţiilor. Legea conservării energiei are doar un rol de contabil care stabileşte echilibrul dintre debit şi credit“ [1].

În uzina de procese artificiale, adică într-o uzină autentică, situaţia devine deosebit de clară. Procesele sînt guvernate de legea entropiei. Ea obligă căldura să treacă de la cazan la condensator şi să se transforme pe parcurs în lucru mecanic ; entropia într-un sens mai larg guvernează şi alte procese. Cum anume acţionează entropia, depinde de diferenţele de nivel iniţiale, respectiv de negentropie. Negentropia trece de la un proces la altul şi o asemenea trecere transformă producţia în ceva ordonat.

În fizica clasică figurează negentropia macroscopică. În aplicaţiile fizicii clasice caracterul proceselor de producţie este determinat de diferenţele de nivel macroscopice, de ordonarea macroscopică a lucrurilor, de concentrările macroscopice de masă şi energie. De aceea toate formele de negentropie clasică sînt legate de marile proporţii ale energiei transmise sau ale maselor transportate. În exemplul de mai sus, procesele de producţie sînt legate de ridicarea la suprafaţă şi transportarea pe cale ferată a unor mase mari de cărbuni, precum şi de transmiterea prin reţea a unor mari cantităţi de energie.

Pentru a asigura caracterul ordonat al proceselor de producţie fără o asemenea deplasare de mari mase şi energii, putem folosi informaţia care în producţia „clasică“ necesită totdeauna mijlocirea omului. În producţia „neclasică“ ea poate fi automată. Aceasta înseamnă că în lanţul unitar al proceselor de producţie legate între ele sînt incluse procese care transportă energii foarte mici şi o negentropie foarte mare. Drept exemplu putem lua dirijarea producţiei prin relee care includ circuite cu curenţi puternici, prin servomotoare

[1] „Nature“, 1938, vol. 141, p. 908 ; vezi A. Sommerfeld, *Termodinamica şi fizica statică*, Moscova, 1955, pp. 59—60.

etc. Comenzile mai complexe cer ca deplasările de masă și de energie să fie minime, iar volumul de informație foarte mare.

În această privință, ca și în multe altele, tehnica are drept model creierul omului. J. Thomson citează următorul exemplu. Omul a dispus un pachet de cărți într-o anumită ordine. El a modificat considerabil entropia sistemului de 52 de cărți, care a trecut de la o dezordine totală la o ordine totală. Pentru aceasta s-a cheltuit o energie mai mică decît cea degajată atunci cînd arde o moleculă de parafină : $6{,}4.10^{-12}$ ergi [1].

Folosirea pe scară tot mai mare a proceselor care într-o anumită măsură, deocamdată mică, se apropie de o asemenea corelație între energie și negentropie va reprezenta o foarte importantă direcție de progres la sfîrșitul secolului al XX-lea. E vorba de „inspiratori", de transmiterea de energii mici, care „inspiră" evenimente la care participă mari energii. În cazul unei asemenea inspirații, un proces care nu poate fi redus la transmiterea de energie (vorbirea, un semnal radio, un semnal luminos etc.) declanșează procese energetice propriu-zise. Schema unui asemenea proces se materializează („se codifică") într-o altă dimensiune, în fenomene de altă natură fizică, într-o scară spațială și temporală cu totul diferită, devenind apoi „inspiratorul" evenimentelor programate.

Pentru ca asemenea procese care transmit o mare negentropie cu o mică deplasare de energie să poată transmite informația despre niște scheme foarte complicate, a fost nevoie să folosim instabilitatea dinamică a electronilor în vid și în rețele cristaline, cu alte cuvinte a fost necesar ca intervenția noastră activă în procesele naturale și cercetarea acestor procese să fie transferate în domenii spațio-temporale foarte mici. Tocmai aceasta a permis înlocuirea pe scară mare a transmiterii de energie și de mase prin transmiterea de informație. În conținutul informației intră astăzi nu numai comportarea corpurilor macroscopice, ci și comportarea particulelor. Am mai spus că nedetermi-

[1] J. Thomson, *op. cit.*, p. 48.

narea cuantică a acestei comportări are prea puține elemente comune cu nedeterminarea clasică a comportării particulelor individuale în ansambluri statistice.

Ca obiectiv direct și explicit al producției apare negentropia, ordonarea nu numai a macrocosmosului, ci și a microcosmosului. Această constatare ne permite să lămurim o neînțelegere care se întîlnește deseori.

Una dintre prognozele de bază la care ne-am referit în această lucrare constă în creșterea continuă, ba chiar mai mult, în accelerarea continuă a creșterii productivității muncii sociale. Cît timp poate dăinui o asemenea accelerare ? Dacă producția de case, mașini, alimente, îmbrăcăminte, televizoare etc. va crește în mod accelerat un timp destul de îndelungat, suprafața limitată a globului nu va mai fi suficientă pentru aceste produse și universul va asista la proiectarea diverselor mărfuri în spațiul cosmic cu o viteză tot mai mare ; numai legea conservării materiei va prezerva planeta noastră împotriva acestei situații. Oricît de fantastică pare, ea oglindește serioasele dificultăți pe care le întîmpină o prognoză a economiei dinamice. Unii economiști presupun că creșterea potențelor economice poate face loc cu timpul unei perioade staționare. Dacă e să vorbim despre perioada care urmează după secolul atomic, despre civilizația postatomică, lucrarea noastră conține în următoarele ei capitole o altă prognoză. Secolului atomic îi este proprie o accelerație continuă, iar secolului postatomic o creștere continuă a accelerației însăși, o valoare pozitivă a derivatei a treia a productivității muncii.

Cît despre spectrul unui torent cosmic de produse ale industriei umane, trebuie să amintim că producția care se dezvoltă pe Pămînt este producția de negentropie, o ordonare a lumii (a macrocosmosului și a microcosmosului). Numărul combinațiilor ordonate ale particulelor care alcătuiesc hidrosfera, litosfera, atmosfera etc. — obiectul imediat al acțiunii transformatoare a omului — este practic infinit de mare. Aplicînd producției noțiunea de negentropie, ne apropiem de noțiunea de *noosferă,* propusă de V. I. Vernadski, înțelegîndu-se prin aceasta pătura transformată de rațiunea omului și

considerată ca un nou înveliș al globului. Astăzi această noosferă s-a desprins de glob, negentropia rezultată din producție a depășit atmosfera ; combinațiile de materie ordonate de om (inclusiv radiațiile posturilor de radio trimise în cosmos) cuprind distanțe astronomice.

Creșterea negentropiei este limitată numai de scala astronomică a timpului, adică în mod practic poate fi nelimitată chiar în cazul accelerației și al creșterii accelerației. Ea cuprinde microcosmosul, unde ordonarea cromozomilor prin radiația „cu tir precis" sau radiațiile coerente din zona optică, ultravioletă și Roentgen indică caracterul inepuizabil al progresului.

8
De rerum natura

Problema prognozei ştiinţifice este în bună măsură problema idealului ştiinţific. Schiţăm prognoze ştiinţifico-tehnice pornind de la scheme ideale deja cunoscute spre care tinde creaţia ştiinţifico-tehnică. Dar este oare aplicabilă noţiunea de normă directoare şi are oare sens întrebarea „pentru ce ?" atunci cînd căutăm legile cele mai generale ale firii ?

Cînd un constructor creează un tip nou de reactor cu uraniu, el caută să se apropie de schema ideală a fisiunii uraniului. Cînd un fizician caută o nouă schemă ideală pentru obţinerea energiei atomice, el caută să se apropie de corelaţia fundamentală $E=mc^2$. Dar de care obiectiv vor să se apropie cercetătorii atunci cînd caută asemenea corelaţii fundamentale ?

În ştiinţă, fiecare epocă se caracterizează prin anumite idealuri ale interpretării fizice a naturii. „Perfecţiunea interioară" a teoriilor fizice cerută de Einstein are drept criteriu legătura dintre aceste teorii şi principiile universale ale unei asemenea interpretări ideale. Prognoza pentru anul 2000 trebuie să răspundă la întrebarea : spre ce ideal al interpretării ştiinţifice vor tinde

cercetătorii în ultimele decenii ale secolului nostru? Cînd ne referim la cercetările fundamentale, nu putem spune decît foarte puţin despre rezultatele previzibile, dar *direcţia* acestor cercetări se vede mai clar, ea este determinată de idealul modern al ştiinţei, care astăzi se conturează tot mai distinct.

Idealul modern al ştiinţei diferă de idealul clasic nu numai prin conţinutul său, ci şi prin caracterul său dinamic pregnant. Ştiinţa modernă consideră idealul interpretării ştiinţifice a lumii spre care tinde ea drept ceva care se schimbă chiar sub privirile unei singure generaţii. Pentru a formula idealul modern al interpretării ştiinţifice trebuie să-l comparăm cu acele scheme ideale care au definit în trecut stilul şi direcţia gîndirii ştiinţifice.

În trecut ştiinţa a căutat întotdeauna obiecte a căror existenţă şi comportament să explice în ultimă instanţă toate procesele care se desfăşoară în natură. În filozofia naturală ioniană au apărut două concepţii: lumea se aseamănă cu apa; lumea se aseamănă cu nisipul. Prima concepţie considera că baza reală a fenomenelor o constituie modificările, deformările şi deplasările părţilor unei substanţe continue; aceste părţi aveau atribute calitative diferite. Concepţia a doua, cea atomistă, propunea în general drept elemente ale edificiului cosmic particulele discrete şi mobile ale unei substanţe omogene, înconjurate de „neantul" lui Democrit, adică de spaţiul vid.

Iniţial a predominat concepţia asupra substanţei bazată pe continuitate şi pe calitate. Elementele lui Aristotel sînt nişte părţi distincte ale unei substanţe continue care prin combinaţiile lor formează întreaga lume multicoloră ce ne înconjoară. Idealul ştiinţei consta în reducerea diversităţii lumii la combinaţii ale celor patru elemente. Această concepţie s-a menţinut pînă în secolul al XVII-lea. Celălalt răspuns la problema substanţei era cel atomist. Idealul concepţiei atomiste este reducerea tuturor fenomenelor la o grupare spaţială de particule care nu posedă nici un fel de caracteristici calitative. Acest răspuns la problema substanţei şi acest ideal al interpretării ştiinţifice au exercitat o

influenţă uriaşă asupra culturii universale, asupra necesităţilor omului de a cunoaşte şi de a-şi supune natura şi chiar asupra prognozelor cu ajutorul cărora ştiinţa prevede viitorul, inclusiv prognozele moderne. Fragmentele din opera lui Democrit şi a lui Epicur care ne-au parvenit şi *Poemul naturii* al lui Lucreţiu *(De rerum natura)* — capodoperă nemuritoare a discursului poetic şi a gîndirii ştiinţifice — au rămas nu numai ca monumente ale gîndirii ce caută ultimele principii ale firii, ci şi ca un impuls care şi astăzi continuă să accelereze aceste căutări. Gîndirea modernă este în căutare de noi principii fundamentale ale naturii, ştiind bine că acestea nu vor fi ultimele. Aceasta înseamnă că poemul lui Lucreţiu şi tot ce reprezintă el pentru noi îşi va menţine întotdeauna funcţia de „impulsionare", de accelerare a gîndirii umane, dornică să cunoască natura lucrurilor.

Idealurile concepţiei atomiste antice au fost reînviate de ştiinţa din secolul al XVII-lea şi puse la baza teoriei clasice a substanţei şi a idealului clasic al ştiinţei. E drept că concepţia lui Descartes, după care substanţa este identică cu spaţiul, excludea din imaginea lumii spaţiul vid care apărea în atomistica antică. Faptul acesta nu a schimbat însă mare lucru. Într-adevăr, dacă atomii nu posedă atribute calitative, greu pot fi deosebiţi de spaţiul vid care îi înconjoară. Este aceeaşi dificultate de care s-a lovit şi Descartes, care nu a putut găsi hotarul ce desparte un corp de corpurile înconjurătoare. Leibniz şi Newton au încercat s-o înlăture. Leibniz a atribuit corpurilor proprietăţi dinamice care le deosebesc de porţiunile de spaţiu. Corpurile posedă inerţie : ele se opun forţelor care caută să le modifice starea ; ele pot influenţa starea altor corpuri. Porţiunile de spaţiu sînt lipsite de această virtute. În aceasta constă deosebirea dintre substanţă, împărţită în corpuri discrete formate din materie omogenă, şi spaţiu.

Newton, folosind noţiunea de forţă, a zugrăvit tabloul corpurilor acţionînd unele asupra celorlalte. Toate procesele din lume se reduc la regruparea corpurilor şi se explică prin interacţiunea lor. A găsi această temelie dedesubtul tuturor proceselor este idealul clasic

al științei, pe care Einstein îl numea *programul lui Newton.*

Descartes, Leibniz și Newton au explicat prin interacțiunea corpurilor comportarea, pozițiile, impulsurile și accelerațiile lor. În ceea ce privește *existența* corpurilor, ea era exclusă din cadrul fizicii și i se dădea o explicație metafizică. Un singur gînditor din secolul al XVII-lea a încercat să încadreze existența corpurilor în fizică : Spinoza. El considera natura drept cauza propriei sale existențe *(cauza sui)*, drept ceva ce se află în interacțiune cu sine însuși, neavînd nevoie de o cauză exterioară pentru existența sa. Această idee nu și-a găsit o concretizare în fizica clasică. Abia în teoriile moderne, neclasice vom întîlni ideea unui univers care este el însuși cauza existenței fiecăreia dintre părțile ce-l alcătuiesc. Pentru moment vom consemna faptul că ideea lui Spinoza corespunde făgașului principal al gîndirii fizice, cu toate că i-au trebuit două secole ca să-și găsească concretizarea fizică. Aceasta s-a întîmplat o dată cu apariția unei teorii care îmbină, cel puțin ipotetic, concepția existenței corpurilor cu observațiile experimentale și pretinde să explice rezultatele experimentale care nu-și găsesc o altă interpretare.

Știința clasică explica existența corpurilor prin faptul că niște corpuri mai simple s-au grupat și au format un corp unitar. Proprietățile acestuia se explică prin structura, compoziția, poziția reciprocă, interacțiunea și mișcările elementelor care îl alcătuiesc. Dar o asemenea interpretare ne conducea doar de la o treaptă a ierarhiei structurale a lumii la alta. La capătul scării se afla un răspuns care împingea existența particulelor elementare — care nu mai pot fi fracționate — în afara cadrului interpretării fizice.

Schimbarea poziției corpurilor, deplasarea lor, accelerația lor își pierdeau sensul fără proprietățile substanțiale. De unde veneau însă aceste proprietăți substanțiale ? La această întrebare fizica clasică nu oferea nici un răspuns.

După cum am mai spus, Leibniz și Newton atribuiau substanței o proprietate care o distinge de spațiu : capacitatea porțiunilor de substanță de a interacționa

între ele. Bošković considera particulele drept niște centre de forțe lipsite de întindere. Interacțiunea permite determinarea masei și a sarcinii corpului pe cale fizică, experimental. Faraday atribuia interacțiunilor un caracter substanțial. Forța este un fel de tub de forță elastic, iar particulele nu sînt decît capetele tuburilor de forță, niște puncte singulare ale cîmpului de forță. În teoria lui Maxwell, cîmpul s-a emancipat total de legătura cu corpurile ; forțele electromagnetice — niște linii închise, turbionare ale cîmpului electromagnetic — pot exista și se pot mișca într-un spațiu unde nu există corpuri obișnuite posedînd mase și sarcini.

Dar toate aceste răspunsuri *clasice* la problema substanței, a deosebirii dintre materie și spațiu, dintre existența fizică și comportare nu depășeau de fapt cadrul comportării și nu rezolvau problemele existenței. Interacțiunea unei particule cu alte particule își găsește expresia în traiectorie, viteză și accelerație, care, la rîndul lor, depind de cîmp. Astăzi am spune că interacțiunea curbează într-un fel sau altul liniile de univers ale particulelor în interacțiune. Dar prin ce se deosebește linia de univers a particulei de imaginea geometrică corespunzătoare, care sînt faptele negeometrice ce caracterizează linia de univers ?

Nici știința clasică în sensul propriu al cuvîntului, nici teoria relativității nu oferă un răspuns la această întrebare. Și totuși ea a fost formulată de mult. De fapt devierile spontane ale particulelor de la calea macroscopic predestinată, ceea ce Epicur și Lucrețiu numeau *clinamen*, reprezentau niște garanții ale existenței autentice a atomului. Epicurienii mergeau chiar mai departe. Ei vorbeau nu numai de „revolta" atomului, de devierea lui spontană, ci și de dispariția și reapariția consecutivă a particulei în drumul ei. Alexandru de Afrodisias scria la începutul secolului al III-lea al erei noastre că epicurienii cred că „mișcarea nu există, ci există doar rezultatul mișcării", cu alte cuvinte că particula, dispărînd și reapărînd apoi într-o altă celulă a spațiului discret, se comportă ca și cum s-ar mișca înainte.

S-ar putea pune întrebarea : pentru ce într-o lucrare care se ocupă de prognozele pentru anul 2000 ne întoarcem cu peste două mii cinci sute de ani în trecut, la Epicur ? Explicația constă tocmai în caracterul radical al prognozei pentru anul 2000 în domeniul cunoștințelor fundamentale. Cu cît este mai radicală trecerea previzibilă la noi reprezentări, cu atît mai radicală este și reconsiderarea retrospectivă a valorilor legată de aceasta, și cu atît este mai masiv stratul de reprezentări intrate în obișnuință și cu adînci rădăcini în trecut, pe care îl răstoarnă și-l revizuiește gîndirea modernă. Cu acest prilej ea nu numai că schimbă ceea ce părea imuabil de-a lungul mileniilor, ci găsește de asemenea în trecut nedumeriri, contradicții, probleme adresate viitorului.

În ce constă deci elementul nou, care permite astăzi să reconsiderăm reprezentările cele mai înrădăcinate ? În ce constă acea reînnoire radicală a stilului cercetărilor fundamentale și acele noi principii ale științei care poartă în sine germenii civilizației noi, postatomice ? Domeniul de la care pornește noua revoluție științifică este teoria particulelor elementare. Faptul acesta nu este de mirare. Ceea ce apare drept particulă elementară în fiecare epocă constituie de fapt prima verigă fundamentală a concepției despre lume. Timp de 2000 de ani particulele elementare erau denumite atomi și se considera că sînt alcătuite dintr-o materie omogenă lipsită de calități. Apoi atomii s-au divizat în protoni, neutroni și electroni care se deosebesc prin masă, sarcină și timp de viață. Mai tîrziu li s-au adăugat noi tipuri de particule, care astăzi se numără cu zecile. Următoarea treaptă a teoriei particulelor elementare va consta în sistematizarea particulelor cunoscute astăzi, precum și a altora care vor fi găsite de-acum încolo. Se pare însă că această sistematizare se va deosebi în principiu de tabelul lui Mendeleev. Descifrarea fizică a sistemului periodic avea un caracter structural în sens clasic : atomii diferă prin numărul și gruparea subatomilor. Este puțin probabil că particulele pe care le numim astăzi elementare se vor dovedi a fi niște structuri alcătuite din particule mai mici. Mai curînd deosebirile

dintre ele ni se vor prezenta ca o expresie a unor legături, diferite ca intensitate și caracter, cu alte particule, poate cu universul în ansamblul lui.

La jumătatea secolului nostru cercetarea radiațiilor cosmice și a fluxurilor de particule cărora li s-au imprimat energii înalte în acceleratori a dus la o extindere considerabilă a cunoștințelor despre particulele elementare. Nu e vorba numai de faptul că a crescut numărul de particule elementare pe care le cunoaștem. Această creștere a varietății de particule pune în fața științei probleme fundamentale majore. Ele sînt departe de a fi rezolvate, și fizicianul din zilele noastre asistă cu sentimente contradictorii la extinderea rapidă a tabelului particulelor elementare ; s-ar putea chiar spune că sentimentul pe care îl încearcă este foarte complex. Pe de o parte, el înregistrează o creștere aproape continuă a cunoștințelor despre elementele edificiului cosmic, adică a cunoștințelor fundamentale. Descoperiri de felul acelora care pe vremuri marcau noi epoci în știință sau care în orice caz jalonau perioade îndelungate (cum a fost descoperirea primelor dintre particulele elementare cunoscute astăzi — electronul, protonul, fotonul) se succed astăzi cu o mare frecvență. Această rapiditate le dă oamenilor de știință anumite speranțe și totodată (și în aceasta constă al doilea aspect al problemei) îi intimidează. Și nu e de mirare. Cu cît este mai mare numărul particulelor elementare, cu atît se pare că știința se îndepărtează nu numai de idealul clasic — explicarea structurii universului prin mișcarea particulelor materiei omogene —, ci în general de explicarea structurii universului prin mișcarea „cărămizilor" lui elementare.

Mai intervine însă și un al treilea aspect al evoluției cunoștințelor, o a treia componentă a stării de spirit pe care-o generează descoperirile de noi și noi particule elementare. Notăm în paranteză că aceste „componente ale stării de spirit" ale omului de știință sînt de fapt prognoze ale dezvoltării în continuare a teoriei particulelor elementare. Așadar, a treia componentă constă în intuirea faptului că imaginea „cărămizilor" este o

imagine necorespunzătoare, că edificiul universal nu este construit din „cărămizi".

Obiectivul capitolului de față constă în a ilustra prin unele ipoteze convenționale această componentă, această prognoză a dezvoltării în continuare a științei. E vorba nu atît de ipoteze fizice, cît de ipoteze privind istoria viitoare a fizicii. Ele nu se referă la structura presupusă a lumii, ci la apariția și dezvoltarea probabilă a concepțiilor fizice. Bineînțeles, aceste concepții descriu într-o anumită măsură structura reală a lumii ; cu toate acestea, rezerva formulată aici are un anumit sens : o anumită ipoteză concretă de acest gen poate avea un caracter cît se poate de convențional și totuși să ilustreze tendințe reale, deja conturate, ale gîndirii științifice. În cele ce urmează vom încerca să lămurim dacă este posibilă o evoluție viitoare a cercetărilor fundamentale care să nu se mulțumească a face să crească sau să scadă numărul cărămizilor care alcătuiesc edificiul cosmic, dar chiar să renunțe la această noțiune ca element primordial.

Tocmai o asemenea noțiune primordială au fost cărămizile edificiului cosmic postulate de știința clasică, de la prototipurile atomisticii antice pînă la construcțiile clasice admise de știința contemporană. Atomii lui Democrit și modificările lor ulterioare propuse de Gassendi și alți gînditori ai epocii moderne, corpurile impenetrabile din fizica lui Descartes, centrele dinamice ale lui Bošković, sarcinile care apar în imaginea cîmpului electromagnetic, particulele elementare — dacă facem abstracție de anihilarea și crearea lor —, toate aceste construcții ofereau răspuns la problema *comportării* elementelor firii și nu la acea a *existenței* lor.

Există temeiuri să credem că o tendință foarte generală a dezvoltării în continuare a științei va fi cea care se conturează de pe acum, avînd drept scop explicarea *existenței* tipurilor de particule elementare care se observă astăzi empiric, încercarea de a explica de ce posedă ele tocmai acele mase și sarcini care le caracterizează și le deosebesc între ele, și nu alte mase și sarcini.

Abordînd problema existenţei particulelor, vom acorda atenţie în primul rînd masei şi sarcinii particulei de fiecare tip. Ignorînd aceste proprietăţi nu am putut deosebi particula de punctul în care se află la un moment dat. Modificarea sarcinii şi a masei constituie un fel de „transmutaţie" a particulei, transformarea particulei de un tip într-o particulă de alt tip. Transformarea perechii electron-pozitron într-un foton sau a fotonilor în perechi electron-pozitron nu se reduce la trecerea dintr-un punct de univers într-un alt punct ; aceste procese depăşesc imaginea unor particule în mişcare care rămîn identice cu sine.

Chiar din dualismul aspectelor corpuscular şi ondulatoriu decurge rolul deosebit al radiaţiei şi absorbţiei particulelor pentru existenţa fizică, adică pentru imposibilitatea de a reduce existenţa lor la comportare. Ecuaţia de undă ne permite să aflăm unde se află şi cum se mişcă o particulă (în cazul general să aflăm probabilitatea poziţiei ei şi a unei anumite comportări a ei spaţio-temporale). În punctele în care o particulă este creată sau este anihilată, adică acolo unde se schimbă numărul de particule, nu se mai înregistrează comportarea, ci existenţa particulei (de pildă, efectul fotoelectric este prima demonstraţie a naturii corpusculare a cîmpului electromagnetic). Dualismul naturii corpusculare şi ondulatorii este o manifestare a complementarităţii comportării şi existenţei particulei, a celor două componente ale existenţei ei.

În felul acesta transformările unor particule elementare în altele depăşesc stilul fizicii clasice, care concepea natura cu ajutorul unor modele spaţio-temporale de comportare a unor particule indestructibile. Natura revine la concepţia epicureică expusă de Alexandru de Afrodisias : în domenii foarte mici nu există mişcare, ci numai „rezultatul mişcării", deplasare ca rezultat al anihilării şi al creării particulei de un tip dat. Dar cuvîntul „revine" nu trebuie interpretat aici în sensul unei simple reluări. Ştiinţa nu are ce face nici cu modernizarea vechiului, nici cu arhaizarea noului. Revenind la trecut, ştiinţa nu caută răspunsuri, ci probleme. Ea răspunde la problemele vechi într-un fel nou.

Noile posibilități care permit să se dea răspuns la o întrebare pusă cu două milenii și jumătate în urmă constau în observarea *interacțiunilor tari* și în manipularea acestor interacțiuni.

În fizica modernă există ideea unei ierarhii a interacțiunilor : slabe, mai tari, din ce în ce mai tari. Aici putem să ne limităm la două verigi ale acestei ierarhii, care începe cu interacțiunea ultraslabă a gravitației, urmată de o interacțiune slabă, apoi de interacțiunea electromagnetică și, în sfîrșit, de interacțiunea tare. Interacțiunea electromagnetică este interacțiunea dintre toate particulele cu sarcină electrică și cîmpul electromagnetic, adică fotonii. Intensitatea ei se caracterizează printr-un anumit număr 1/137, despre a cărui natură s-au enunțat destule opinii contradictorii, fără a se fi ajuns deocamdată la o idee clară. Ne putem apropia de o reprezentare primă, nu prea riguroasă, dacă vom considera acest număr drept măsura efectelor „necarteziene" ale interacțiunii, adică a efectelor care nu se reduc la o modificare a comportării particulelor identice cu sine. Cu cît este mai mare constanta care măsoară intensitatea interacțiunii, cu atît mai mică este durata acestei interacțiuni și cu atît mai mare este probabilitatea că ea nu va provoca o schimbare a comportării particulei, ci transformarea ei într-o particulă de alt tip. Constanta care caracterizează interacțiunea electromagnetică este mică, de aceea interacțiunea electromagnetică nu duce la transformări decît relativ rar (în comparație cu interacțiunea tare și în condițiile unor energii nu prea mari ale particulelor în interacțiune). Interacțiunea tare se caracterizează printr-o constantă mult mai mare, ea se desfășoară într-o perioadă de ordinul a 10^{-25} s (adică este de milioane de ori mai rapidă decît interacțiunea electromagnetică, care are o durată de ordinul a 10^{-15}—10^{-17} s) și duce la procese de transformare.

Aceste procese au loc în general cînd particulele posedă energii foarte înalte, adică se mișcă cu viteze mari. De aceea studiul transformării particulelor cere ca particulelor în interacțiune să li se imprime viteze mari. Procesele de transformare pot avea loc și în cazul inter-

acţiunii electromagnetice : dacă fotonii posedă o energie înaltă (depăşind energia masei de repaus a electronului şi a pozitronului luate împreună), ei se vor transforma — în pofida valorii reduse a constantei menţionate 1/137 — în perechi electron-pozitron. În acest caz, potrivit relaţiilor date de teoria relativităţii, nu este suficient să se ţină seama numai de o anumită modificare a masei în funcţie de viteza particulei. Masa care corespunde energiei cinetice ajunge să fie de acelaşi ordin sau chiar de unul mai mare decît masa de repaus a noilor particule şi se transformă în masă de repaus. Pentru apariţia de noi particule se cere ca energia particulelor existente să depăşească energia de repaus a particulelor generate, energie proporţională masei lor de repaus.

Procesele de acest fel depăşesc cadrul teoriei relativităţii ca teorie a liniilor de univers ale corpurilor identice sieşi. Aceste procese n-ar mai trebui să fie numite relativiste, ci *ultrarelativiste.* Trecerea din lumea relativistă în lumea ultrarelativistă este trecerea de la *comportarea* particulelor identice sieşi, de un tip sau altul, la *existenţa* particulei de tip dat, la apariţia sau distrugerea ei, adică la transformarea particulei de un alt tip într-o particulă de tipul dat sau a particulei de tipul dat într-o particulă de alt tip.

Aceasta este o transformare cît se poate de radicală. Dacă existenţa unei particule elementare de un tip dat s-ar explica printr-o anumită grupare a unor subparticule, ne-am afla în faţa unei noi verigi a atomisticii clasice. Existenţa moleculei se explică prin gruparea atomilor, existenţa atomului prin gruparea de particule elementare, iar existenţa particulelor s-ar explica, la rîndul ei, prin gruparea unor subparticule. Toate acestea sînt explicaţii structurale, care reduc existenţa galaxiei, a sistemului planetar, a stelelor, a moleculelor, a atomului la structura lor interioară. Structura poate să fie statică în sens clasic (ansamblul distanţelor spaţiale dintre poziţiile bine determinate în fiecare moment ale corpurilor care formează sistemul dat) ; ea poate fi relativistă (ansamblul intervalelor cvadridimensionale), dinamică (ansamblul forţelor care acţionează între ele-

mente), cuantică (distanțele dintre elemente nu pot fi precis determinate, ele sînt cu atît mai nedeterminate cu cît mai precis determinate sînt interacțiunile și impulsurile particulelor) ; cînd este însă vorba despre o particulă elementară, existența ei nu se reduce la structura interioară.

Poate că ea este explicabilă pe baza îmbinării unor particule în interacțiune avînd o masă mai mare. În 1964 Gell-Mann și, concomitent cu el, *Zweig* au emis ipoteza existenței unor particule cu o masă foarte mare denumite *quarci*, după niște ființe fantastice din romanul lui Joyce *Finnegan's Wake (Veghea lui Finnegan).* Fiecare dintre particulele care interacționează tare (adică marea majoritate a particulelor) este formată din trei quarci. Cum se întîmplă că masa unei asemenea particule este de multe ori mai mică decît masa quarcilor care o alcătuiesc ? Faptul se explică prin defectul de masă, fenomen pe care îl cunoaștem. Energia de legătură care unește quarcii într-o singură particulă este atît de mare, împachetarea lor este atît de economică, încît atunci cînd din quarci se formează o particulă se degajează o energie foarte mare. De aceea particula rezultantă posedă o masă de multe ori mai mică decît masa quarcilor care au format-o. Dacă ipoteza quarcilor corespunde realității, quarcii ar trebui să se întîlnească în natură în stare liberă, deși foarte rar. Majoritatea lor „s-a mistuit", adică ei s-au unit în sisteme de trei quarci, dînd particule cu o masă diferită, dar de fiecare dată considerabil mai mică decît a quarcilor.

Odată cu ipoteza quarcilor, fizica a pășit pe un drum nou : ea construiește sisteme din elemente mai mari și nu mai mici decît aceste sisteme. De fapt fizica a inaugurat acest drum încă mai înainte. Încă în 1949 Fermi și Yang au presupus că un nucleon și un antinucleon pot forma o particulă cu o masă mult mai mică decît fiecare dintre ele. Cît de departe se poate înainta pe această cale ? M. A. Markov a studiat problema limitelor ei și a formulat noțiunea unei particule elementare de pondere maximă numită maximon. Acestea sînt la scara microcosmosului niște particule

gigantice. M. A. Markov presupune că ele au fost presate în particulele — de masă cu mult mai mică — cunoscute nouă, şi aceasta ca urmare a unui proces a cărui desfăşurare explică unele fenomene astronomice. E vorba de colapsul gravitaţional, pe care-l vom întîlni cînd vom vorbi despre perspectivele studierii cosmosului. Acest proces are loc în domenii în care substanţa este atît de puternic presată, încît un centimetru cub de substanţă are o greutate de miliarde de tone. În asemenea condiţii poate începe un proces foarte rapid, practic instantaneu, de comprimare în continuare a substanţei, proces provocat de forţele de atracţie reciprocă ale particulelor.

Colapsul gravitaţional, făcînd să crească instantaneu energia de legătură a particulelor, duce la un uriaş defect de masă, la o diferenţă uriaşă între suma maselor de maximoni şi masa particulei în care îi împachetează. Dar pentru ca să se declanşeze un colaps gravitaţional este necesar să existe în prealabil o densitate a substanţei care nu se întîlneşte pe Pămînt. Asemenea condiţii au putut exista cînd universul actual a fost concentrat într-un nucleu relativ mic : punctul iniţial al expansiunii lui, care a început la un moment dat şi care continuă astăzi. Aşadar, punctul iniţial al expansiunii universului coincide cu punctul iniţial al genezei particulelor existente astăzi.

Aceste observaţii succinte referitoare la unele ipoteze caracteristice pentru fizica modernă au fost făcute nu fără intenţie. Noua etapă care începe astăzi în dezvoltarea fizicii teoretice influenţează progresul ştiinţei (accelerează acest progres şi în ultimă instanţă asigură creşterea acceleraţiei indicatorului economic fundamental) nu numai prin intermediul noilor concepţii pozitive, ci şi prin stilul de gîndire ştiinţifică. Această dependenţă nu poate fi realizată fără o anumită evoluţie psihologică, fără o mai mare plasticitate a cunoaşterii. Nu ştim încă dacă experienţa va confirma sau nu existenţa quarcilor sau a maximonilor. Oricum ar fi însă, aceste ipoteze îndeplinesc de pe acum o funcţie importantă pentru civilizaţia contemporană; ele imprimă psihologiei oamenilor care meditează asupra naturii (nu numai a

savanţilor de profesie) mai multă plasticitate, şi în felul acesta accelerează asimilarea ştiinţei şi sporesc influenţa stilului ei dinamic asupra culturii contemporane. Mulţumită acestor ipoteze, construcţiile fizice neunivoce şi care, de altfel, nici nu se pretind univoce nu mai sînt considerate astăzi ca „esoterice".

Toate acestea au fost expuse pentru a-l pregăti pe cititor pentru noi construcţii ipotetice cel puţin tot atît de neunivoce. Sensul lor constă în a da o formă relativ concretă prognozelor care reflectă căutările unui nou ideal al ştiinţei şi care au devenit atît de frecvente în fizică. E vorba de un ideal comparabil cu idealul clasic — reducerea naturii lucrurilor la mişcarea unor particule imuabile şi indestructibile —, comparabil, bineînţeles, în ceea ce priveşte generalitatea lui, capacitatea lui de a cuprinde întreaga natură într-o concepţie fundamentală unitară. Cu cît se dezvoltă teoria particulelor elementare, cu atît mai mult se afirmă convingerea că o asemenea concepţie nouă a naturii lucrurilor este necesară.

Voltaire i-a atribuit lui Descartes o adresare imaginară către Dumnezeu, în care gînditorul francez îşi asumă sarcina de a crea o lume asemănătoare cu cea creată de Dumnezeu, cu condiţia să i se dea materie şi legea mişcării acesteia. De fapt nu numai Descartes, ci fizica clasică în ansamblul ei şi-a asumat sarcina de a explica întregul edificiu cosmic, presupunînd materia şi legile mişcării elementelor ei discrete ca date, ca puncte de plecare ale analizei. Ştiinţa modernă dispune de date de plecare analoge. Acestea sînt constantele stabilite în mod empiric. De cînd fizica a căpătat un caracter cantitativ, de cînd ştiinţa nu numai observă, ci şi măsoară procesele fizice, idealul interpretării ştiinţifice constă în reducerea la minimum a constantelor pur empirice. Încă la sfîrşitul secolului al XVI-lea şi la începutul secolului al XVII-lea Kepler şi-a propus să deducă distanţele medii dintre planete din corelaţii pur geometrice. El considera că circumscriind un octaedru regulat sferei planetei Mercur şi apoi circumscriind acestui octaedru o suprafaţă sferică va obţine sfera planetei Venus ; că înscriind apoi această sferă într-un icosaedru regulat va

obţine sfera Pămîntului şi că în felul acesta, făcîndu-se uz de toate poliedrele regulate, se pot obţine sferele tuturor planetelor.

Constatarea că această încercare avea un caracter destul de fantastic nu înlătură însă întrebarea : „de ce lumea este aşa cum este şi nu altfel ?". În toate momentele evoluţiei sale, fizica — atît cea clasică cît şi cea neclasică — a căutat să elimine mărimile pur empirice, să le lege de altele, să le explice printr-un nex cauzal, să transforme imaginea lumii într-o schemă autocorelată, în care fiecare constantă decurge din concepţia generală a edificiului cosmic. Einstein scria în 1949 în autobiografia sa că această tendinţă se apropie de împlinirea ei, că se naşte o teorie fizică fundamentală în care nu vor exista constante pur empirice, în care toate constantele vor decurge dintr-o schemă, expresie univocă a armoniei edificiului cosmic [1]. Într-o convorbire cu asistentul său Strauss, Einstein a pus întrebarea : „Ar fi putut oare Dumnezeu să creeze lumea altfel ?" — adică ar putea fi armonia cauzală a edificiului cosmic exprimată prin alte constante fizice ? [2].

Dacă considerăm că tendinţa menţionată străbate întreaga evoluţie a fizicii, care sînt constantele care au devenit astăzi obiectul celor mai susţinute căutări ale explicaţiei cauzale ?

În ceea ce priveşte *comportarea* particulelor elementare, ştiinţa contemporană a realizat un tablou relativ ordonat. Două constante — viteza luminii şi constanta lui Planck, cuanta de acţiune — explică o mulţime de procese. Dar ceea ce am putea numi *constantele existenţei* particulelor elementare, adică masele şi sarcinile care caracterizează tipurile de particule, nu numai că nu se împuţinează ca număr, ci, dimpotrivă, se înmulţesc.

Treapta concretă şi cea mai apropiată în spre idealul imaginat de Einstein constă în a deduce spectrul maselor şi al sarcinilor particulelor din nişte postulate generale, în a transforma valorile maselor şi ale sarcinilor particulelor din valori empirice în valori motivate teoretic.

[1] A. Einstein, *Culegere de opere ştiinţifice*, vol. IV, p. 281 (în l. rusă).

[2] *Helle Zeit — Dunkle Zeit*, Zürich, 1956, p. 72.

Tocmai în aceasta constă obiectivul principal al teoriei unitare — încă neconcepute — a particulelor elementare, în aceasta constă trecerea de la teoria comportării particulelor la teoria existenței lor. Dacă ne amintim succintele caracterizări ale concepțiilor din secolul al XVII-lea schițate la începutul acestui capitol, am putea spune că problema constă în trecerea de la programul lui Descartes la programul lui Spinoza, la concepția unei naturi care este nu numai o natură creată (*natura naturata*), ci și o natură creatoare (*natura naturans*), care își plăsmuiește propriile elemente și interacționează cu sine însăși, o natură care este cauza propriei sale existențe.

Cum este posibil, folosind cunoștințele acumulate în ultimele decenii cu privire la particule, cu privire la interacțiunile și transformările particulelor, să facem ca acest program să devină din unul abstract filozofic un program concret fizic, respectiv program de experimentare ? Tocmai la această întrebare trebuie să dea răspuns prognozele referitoare la cercetările fundamentale. Aceste prognoze sînt cuprinse implicit sau explicit în ipotezele care deduc spectrul maselor și al sarcinilor particulelor dintr-un postulat general oarecare. După cum am văzut în fizica modernă, mulți caută să ordoneze inventarul amplificat al particulelor elementare considerînd multitudinea lor drept un rezultat al interacțiunii unor particule „mai elementare“, avînd poate o masă mai mare. Paralel cu această tendință există și o alta : deducerea spectrului diverselor mase și sarcini ale particulelor (precum și al altor mărimi care deosebesc diversele tipuri de particule unele de altele) din postulate mai generale.

Un asemenea postulat general poate fi, după părerea lui Heisenberg, caracterul neliniar al interacțiunii primare care a determinat existența particulelor elementare. La sfîrșitul deceniului al patrulea al secolului nostru s-a conceput o ecuație neliniară care descrie interacțiunea unui cîmp universal oarecare cu el însuși. Soluțiile acestei ecuații trebuiau să dea spectrul maselor diverselor particule. Ele sînt prezentate ca niște stări excitate ale acelei „submaterii“ care interacționează

cu sine însăşi. Existenţa unei particule este considerată în această teorie ca rezultat al unei interacţiuni, noţiunea de particulă „goală“ care nu participă la nici o interacţiune pierzîndu-şi orice semnificaţie.

Deocamdată concepţia lui Heisenberg nu a dat un rezultat univoc. Teoria unitară a particulelor elementare continuă să rămînă un ideal nerealizat al ştiinţei moderne. Se pare însă că concepţia neliniară se află pe făgaşul principal al progresului ştiinţific. Tabloul clasic al lumii consideră comportarea unei particule drept ceva dependent de existenţa şi poziţiile altor particule, dar această dependenţă părea să aibă un caracter linear. Reprezentarea iniţială este un sistem dat de particule încărcate. El este considerat drept sursa unui cîmp. Cîmpul acţionează asupra particulei şi determină comportarea ei. Apariţia unui cîmp cu o structură sau alta în funcţie de poziţiile şi mişcarea particulelor este un proces, o problemă, iar formarea schemei cinematice a edificiului cosmic, dispoziţia şi mişcările particulelor în funcţie de structura cîmpului constituie un alt proces, o altă problemă. Fizica clasică le rezolvă pe fiecare în parte. Putem presupune că teoria unitară a particulelor elementare va aborda mişcarea şi interacţiunea particulelor într-un alt fel.

Dacă existenţa unei particule este dedusă uneori din interacţiunea ei cu alte particule, rezultă un *sistem autocorelat* în care nu mai este loc pentru o distribuire dinainte dată a particulelor, fiecare cu o existenţă individuală, independentă de existenţa altor particule şi de interacţiunea care le leagă. Din principiul relativităţii reiese că *poziţia* unei particule nu are sens fără alte particule. Astăzi înclinăm spre ideea că *existenţa* unei particule este imposibilă fără existenţa altor particule care interacţionează cu ea. Această schemă pare ceva paradoxal sau chiar mai mult decît atîta : un cerc vicios. Existenţa particulelor se explică prin interacţiunea lor, iar interacţiunea prin existenţă. Tot atît de paradoxală este existenţa unei particule explicată prin existenţa altor particule, fără ca acestea din urmă să aibă un caracter primar şi independent. Dar tocmai un asemenea caracter paradoxal şi nelinear este propriu naturii care

este cauza propriei sale existențe. Această *natură producătoare* sau *natura naturans*, cum o numea Spinoza, nu-și găsea corespondentul în fizica clasică și a rămas o întrebare adresată viitorului. Astăzi această noțiune a îmbrăcat forma fizică a unui sistem autocoordonat de interacțiuni tari, care creează fiecare dintre particulele în interacțiune.

O asemenea concepție despre existența particulei ca rezultat al interacțiunii ei cu alte particule a fost propusă de Chew și Frautschi [1]. Ipoteza respectivă se referă la interacțiuni tari și la particule care interacționează tare. O particulă care interacționează tare, de pildă protonul, este prezentată drept rezultat al unor efecte dinamice, fiecare dintre aceste rezultate fiind la rîndul său o sursă de efecte dinamice. Acțiunile dinamice determină nu numai comportarea, ci și existența particulelor.

Vom încerca acum să demonstrăm incidența teoriei care explică existența particulelor elementare pe baza interacțiunilor tari cu o altă tendință. E vorba de spațiul și timpul discret. Această idee, foarte veche, care a existat, după cum am văzut, încă din antichitate, a căpătat o semnificație deosebită la mijlocul secolului nostru. S-a văzut în ea o ieșire posibilă, deși dificilă, dintr-o situație cît se poate de complexă. Încă în deceniul al patrulea și într-o măsură și mai mare în al cincilea a reieșit că aplicarea consecventă a teoriei relativității și a mecanicii cuantice pentru descrierea evenimentelor din domenii spațio-temporale foarte mici duce la un rezultat lipsit de sens fizic. Energia și sarcina calculate pe baza formulelor cuantice și relativiste dau valori infinite. Admiterea unei energii infinite sau a unei sarcini infinite este în contradicție cu cunoștințele noastre despre lume. Și totuși calculul duce tocmai la asemenea rezultate lipsite de sens fizic.

Încercînd să lămurim această situație și semnificația spațiului-timp discret pentru ieșirea din acest impas,

[1] G. F. Chew, S. C. Frautschi, în „Phys. Rev.", 1961, 7, p. 394; G. Chew, *Criza ideii de elementar în fizică*, în culegerea *Viitorul științei*, Moscova, 1968, pp. 45—55 (în l. rusă).

să considerăm o singură sursă de valori infinite ale energiei. Electronul poate emite fotoni, care sînt absorbiți chiar de electronul care i-a emis. Cu cît este mai scurt intervalul dintre emiterea și absorbția unui asemenea foton, cu atît este mai mare aportul lui la energia electronului și respectiv la masa acestuia. Această „autoacțiune" a electronului duce la valori infinit de mari ale energiei și masei lui : dacă fotonul poate fi emis și apoi absorbit în cursul unui interval de timp oricît de mic, și distanța pe care o străbate poate fi oricît de mică, aportul lui la energia electronului poate fi oricît de mare. Există metode matematice foarte ingenioase pentru evitarea valorilor infinite. Aceste metode dau valori ale energiei foarte apropiate de cele furnizate de experiență. Ele posedă ceea ce Einstein numea *justificarea exterioară.* Dar metodele menționate sînt adoptate ad-hoc, adică special pentru obținerea rezultatului dorit; ele nu posedă în acest sens *perfecțiunea interioară,* nu decurg dintr-o teorie fizică generală lipsită de contradicții și se aplică „pe credit", în speranța că o astfel de teorie va fi construită.

O asemenea teorie ar putea porni de la caracterul discret al spațiului și al timpului. În acest caz, emiterea fotonului și absorbirea lui nu s-ar putea produce într-un timp oricît de mic și respectiv traiectoria nu ar putea fi mai mică de o anumită lungime minimă (intervalul minim de timp înmulțit cu viteza luminii). Atunci calculul contribuției aduse de fotoni emiși și apoi absorbiți de electron la energia și masa acestuia ar fi în mod firesc limitat, iar metodele de suprimare a valorilor infinite ar căpăta un sens fizic și „perfecțiune interioară".

Să ne amintim de prototipul menționat mai sus de noi al concepției unui spațiu și timp discret, concepție epicureică emisă în secolul al II-lea î.e.n. de Alexandru de Afrodisias. O particulă nu se deplasează dintr-o celulă spațială minimă în alta, ci dispare în una dintre ele și apare în celula vecină. Legătura dintre ideea de discontinuitate și ideea apariției și dispariției unei particule s-a păstrat de-a lungul întregii evoluții a acestor idei. Într-adevăr, mișcarea în interiorul unei celule mi-

nime ar însemna că particula s-ar găsi în prima jumătate a intervalului de timp în jumătatea întîi a celulei, iar în cursul jumătății a doua a intervalului s-ar găsi în a doua jumătate a celulei spațiale. Cu alte cuvinte, intervalul minim de timp și celula spațială minimă se împart în jumătăți, ceea ce vine în contradicție cu definiția lor ca mărimi minime, indivizibile. Dar o intuiție pur logică a filozofiei naturii cu privire la legătura dintre spațiul și timpul discret și dispariția și apariția particulei s-a putut transforma într-o concepție fizică numai după ce în știință s-au încetățenit noțiunile de interacțiuni tari și de efecte de transformare ultrarelativiste.

Încă la începutul deceniului al patrulea, ideea caracterului discret al spațiului și al timpului a îmbrăcat, sub influența mecanicii cuantice, o formă nouă. Noțiunea de nedeterminare cuantică a stat la baza unei serii de concepții care îi refuzau particulei o localizare determinată în interiorul domeniilor spațio-temporale foarte mici. Mai tîrziu, această serie de concepții a fost într-un fel încununată de matricea *S* a lui Heisenberg, care a avut un rol important, menținut și pînă astăzi în teoria particulelor elementare. Matricea *S* este un operator care permite descrierea stării unui sistem de particule după împrăștiere dacă este cunoscută starea înainte de împrăștierea particulelor. Dar cuvintele *înainte* de împrăștiere și *după* împrăștiere au sensul de „cu mult înainte“ și „cu mult după“ în comparație cu durata actului însuși al împrăștierii, adică cu timpul apropierii foarte strînse a particulelor și al modificării mișcărilor lor. Cît despre intervalul de timp și domeniul spațial însuși în care se petrece împrăștierea, Heisenberg consideră că este imposibil să se atribuie particulei în acest proces o localizare spațială și temporală bine determinată. El introduce o lungime spațială minimă și un interval de timp minim care formează o celulă cvadridimensională minimă. În interiorul acestei celule localizarea spațio-temporală își pierde sensul. De aceea poziția și momentul evenimentului, coordonate spațio-temporale care ca precizie pătrund în interiorul celulei minime, sînt lipsite de sens fizic, dovadă fiind, între altele,

valorile infinite ale energiei și sarcinii care apar atunci cînd urmărim evenimentele spațio-temporale în domenii de ordinul celulelor minime. Tocmai din aceste considerente rezultă nevoia de a opera cu stări cu mult anterioare și cu mult posterioare actului de împrăștiere care se desfășoară într-un domeniu spațio-temporal foarte mic.

Nedeterminarea cuantică ca bază a caracterului discret al spațiului reprezintă forma specifică a ideii de discontinuitate caracteristică pentru deceniul al patrulea și perioada care a urmat [1].

La sfîrșitul deceniului al cincilea, Snyder a stabilit legătura dintre caracterul discret al spațiului și o relație specifică de nedeterminare. Relația de nedeterminare a lui Heisenberg stabilește legătura dintre fiecare coordonată și componenta respectivă a impulsului. Dacă coordonata x cîștigă în precizie, componenta p_x a impulsului devine tot mai puțin determinată. În mod analog Snyder stabilește o legătură între coordonatele x, y și z. Dacă una dintre ele se măsoară din ce în ce mai exact și în cele din urmă tinde să devină continuă, celelalte coordonate devin tot mai puțin continue. De aceea volumul nu se poate restrînge pînă la proporțiile unui punct, și spațiul în ansamblul lui se dovedește a fi discret, format din volume ce nu pot fi divizate, iar poziția particulei va fi întotdeauna nedeterminată.

I. E. Tamm stabilește următoarea legătură între interpretarea fizică a caracterului discret al volumelor spațiale postulată de Snyder și nașterea de noi particule [2]. A măsura poziția unei particule cu o precizie maximă înseamnă a găsi volumul minim de spațiu în care se află particula. O asemenea măsurare are loc cînd asupra particulei se îndreaptă un flux de fotoni, de electroni sau de alte particule și se determină direcțiile de zbor ale acestor particule împrăștiate pe particula a cărei poziție este supusă măsurării în experiența dată. Experiența nu permite însă măsurarea coordonatei particulei cu o precizie mai mare decît cea

[1] H. Snyder, în „Phys. Rev.", 1947, 71, p. 38.
[2] „Vestnik Akademii Nauk SSSR", 1968, nr. 9, pp. 25—26.

care merge pînă la lungimea de undă a particulelor împrăștiate. Lungimea de undă este invers proporțională frecvenței oscilațiilor funcției de undă și respectiv energiei particulei împrăștiate. Atunci însă cînd energia crește, este din ce în ce mai probabilă apariția de noi particule în procesul de împrăștiere. Aceste noi particule, la rîndul lor, se dezintegrează repede. Produsele acestei dezintegrări nu pot fi deosebite de particulele care au apărut cu prilejul ciocnirilor inițiale ale particulelor cu energie mare, adică cu prilejul împrăștierii de care s-a făcut uz pentru măsurarea mai precisă a coordonatei particulei împrăștiate. Dar ele își iau zborul nu din punctul de împrăștiere, ci din vecinătatea acestui punct. În felul acesta, procesele de transformare împiedică în cursul determinării poziției particulei împrăștiate localizarea precisă a acestei particule.

La sfîrșitul deceniului al șaselea, Cohish [1] a dezvoltat o altă concepție a spațiului discret. Spre deosebire de Snyder, el consideră discretă nu numai distanța tridimensională (suma geometrică a celor trei segmente ale axelor de coordonate) și nu numai volumul tridimensional, ci și fiecare coordonată și fiecare distanță, chiar dacă ea este măsurată de-a lungul uneia dintre axele de coordonate. În acest caz, pentru lumea ultramicroscopică cauzalitatea relativistă își pierde sensul. Potrivit acesteia, un semnal (cu alte cuvinte orice proces care leagă două evenimente printr-un raport de cauză și efect) trebuie să se propage cu o viteză care să nu depășească viteza luminii. Dar într-un domeniu unde nu se poate vorbi de distanță ca funcție de coordonatele a două puncte, își pierde sensul și noțiunea de viteză, adică de limită a raportului dintre creșterea spațiului și creșterea timpului.

Această problemă cere să ne oprim mai amănunțit asupra ei.

Pentru a determina distanța dintre două puncte, ridicăm la pătrat diferențele dintre coordonatele cu același nume ale acestor puncte, adunăm aceste pătrate și extragem din suma lor rădăcina pătrată. Această

[1] H. Cohish, în „Phys. Rev.“, 1959, 114, p. 383.

formulă a determinării distanței este proprie spațiului euclidian. Dacă spațiul devine neeuclidian, adică se curbează, locul ei îl ia o altă formulă. De pildă, pe o suprafață sferică, o suprafață bidimensională curbă, distanța nu mai este egală cu rădăcina pătrată a sumei pătratelor diferențelor dintre coordonate, ci se calculează pe baza unei alte formule.

Dar orice determinare a unei măsuri își are sensul numai într-un spațiu continuu. Dacă spațiul constă din puncte ale căror distanțe reciproce nu pot fi determinate printr-un număr, deoarece aceste distanțe nu pot fi divizate în părți, într-un asemenea spațiu nu se poate vorbi de coordonate (distanțele de la punctul respectiv pînă la axele coordonate) și în general despre măsurare.

Dar în acest caz ce înseamnă cuvintele „o lungime minimă de ordinul a 10^{-15} cm“ sau „un interval de timp minim de ordinul a 10^{-24} secunde“? Cum se poate vorbi de distanțe minime într-un spațiu în care însuși cuvîntul „distanță“ își pierde sensul? Pe de altă parte, fără noțiunea de distanță minimă ar fi foarte greu să ne reprezentăm ce înseamnă un spațiu discret.

Sîntem confruntați aici cu complementaritatea a două noțiuni care se contrazic, se exclud și totodată își pierd sensul una fără cealaltă. Noțiunea de spațiu discret are sens dacă ea poate trece într-un spațiu continuu; ea capătă un sens fizic numai pentru că are drept complement spațiul continuu.

Anticipînd expunerea noastră, menționăm că trecerea de la spațiul discret la spațiul continuu va fi una dintre problemele majore ale științei în următoarele decenii. Putem presupune că în spațiul discret ultramicroscopic au loc fapte din care va fi dedusă cauzalitatea relativistă. N-am uitat că linia de univers rămîne o noțiune geometrică și nu fizică atîta timp cît nu capătă un conținut de fapte nereductibile la situarea în fiecare punct de univers și la trecerea în următorul punct de univers. Poate că faptele ultramicroscopice (și ultrarelativiste !) sînt tocmai acea umplere a carcasei alcătuite din liniile de univers, care transformă această carcasă într-o lume fizică.

Acest „poate că" este o componentă esențială, deși incertă, a unei prognoze. Totodată el este caracteristic pentru stilul gîndirii fizice în cadrul teoriei particulelor elementare, domeniul celor mai fundamentale cercetări, care reprezintă stadiul contemporan al căutării „naturii lucrurilor". Aceste cercetări nu se bazează nicidecum pe reminiscențe, pe amintiri despre alte căutări analoge care s-au succedat din antichitate pînă în zilele noastre. Și totuși asemenea amintiri sînt necesare pentru a înțelege ce se petrece, în fond, în știință și în ce direcție merge dezvoltarea ei previzibilă. Dar rezolvarea problemelor vechi pornește de la fapte noi, descoperite cu totul recent. În special aceasta se referă la descoperiri experimentale și generalizări teoretice din domeniul interacțiunilor tari și al transformărilor de particule elementare.

În epoca noastră prognoza științifică prezintă analogie cu tangenta la o curbă, pe care o ducem pentru a determina direcția curbei în punctul dat. Prognoza nu are pretenția să fie o prezicere : în momentul următor curba își va schimba direcția și nu se va suprapune nici uneia dintre tangentele duse acum. Și totuși constatarea tendințelor actuale ale științei nu poate fi făcută fără prognoze, discuția asupra direcției curbei este cu neputință fără aceste tangente, chiar dacă fiecare dintre ele nu pretinde să aibă un caracter univoc.

Să încercăm să ducem o tangentă de acest fel luînd drept punct de plecare ideea regenerării particulelor, emisă în 1949 de I. I. Frenkel [1]. El a presupus că o particulă se transformă într-o particulă de alt tip, iar aceasta din urmă se transformă din nou într-o particulă de tipul inițial. I. I. Frenkel a dat unei asemenea duble transformări denumirea de regenerare a particulei. În deceniul al șaselea și mai tîrziu, această ipoteză era luată în considerare în legătură cu caracterul discret al spațiului-timp. Să presupunem că regenerarea particulei are loc în celula spațio-temporală vecină, adică după un interval minim de timp (de ordinul a 10^{-24}s) și la o

[1] I. I. Frenkel, în „Dokladî Akademii Nauk SSSR", 1949, *64*, 1307 ; „Uspehi fiziceskih nauk", 1950, *42*, 1. 69.

distanță egală cu lungimea elementară (drumul străbătut de lumină în intervalul respectiv, adică o distanță de ordinul a 10^{-13} cm). Dacă vom identifica particula regenerată cu cea inițială, va rezulta o deplasare a particulei identice sieși pe o distanță de ordinul a 10^{-13} cm, cu o viteză egală cu viteza luminii. În felul acesta ajungem la un spațiu-timp discret pe conul de lumină[1]. Aici mișcarea se desfășoară sub forma unor deplasări discrete îndreptate în cazul general în direcții diferite și formînd o traiectorie spațială frîntă. Spațiul-timp din interiorul conului de lumină (unde particulele se mișcă respectiv cu diverse viteze mai mici decît viteza luminii) este continuu. Pe aici trec linii de univers mediate macroscopice, cărora le corespund traiectorii spațiale continue. Este lesne să constatăm că în cazul unei simetrii spațiale depline a deplasărilor-regenerări elementare particulele, după un mare număr de asemenea deplasări-regenerări, se vor afla în apropierea punctului originar, iar deplasarea macroscopică va fi nulă. Dimpotrivă, dacă în spațiu există o anumită asimetrie a probabilității deplasărilor elementare, traiectoria macroscopică a particulei și viteza ei macroscopică vor avea valori finite.

Tendința ilustrată de o asemenea schemă convențională a trecerii din lumea ultrarelativistă a transmutărilor în lumea relativistă a mișcărilor continue poate să pară orientată spre un fel de hartă transformațională a lumii, spre ridicarea transformărilor la rangul de imagine originară a tabloului lumii. Dar lucrurile nu stau de loc astfel. S-a spus mai sus că noțiunea de transformare își pierde sensul fără noțiunea macroscopică de linie de univers, după forma și lungimea căreia poate fi determinat tipul particulei. Noul tablou al lumii spre care va înainta știința în următoarele decenii se va dovedi cu mult mai paradoxal decît orice tablou al

[1] B. G. Kuznețov, *O kvanti-relativistskoi loghike*, în culegerea *Voprosî loghiki*, Moscova, 1959, pp. 99—112 ; *Prinţip otnositelnosti v anticinoi, klassiceskoi i kvantovoi fizike*, Moscova, 1959, pp. 211—226 ; *Etiudî ob Einşteine*, Moscova, 1956, pp. 138—163, 316—379 ; „Phil. of Science“, 1966, *33*, 3, p. 199.

lumii bazat pe nişte „cărămizi ale edificiului cosmic“, fie că e vorba de deplasări ale corpurilor, de modificarea structurii cîmpului sau de alte procese şi mai complexe. Acest tablou va porni de la principiul unei existenţe fizice care impune complementaritatea proceselor ultramicroscopice şi macroscopice.

Să ne amintim de sistemul autocoordonat de particule a căror interacţiune constituie garanţia existenţei fiecăreia dintre ele. În dezvoltarea ei ulterioară, ştiinţa va confirma poate această schemă pentru interacţiunile tari. Dar nu este exclusă, de asemenea, apariţia unei teorii fizice care va lega proprietăţile substanţiale ale particulei de acţiunea exercitată asupra ei de către toate particulele care formează metagalaxia. Următoarea schemă convenţională va explica această tendinţă posibilă. Caracterul asimetric al probabilităţilor deplasărilor elementare duce la o viteză macroscopică nenulă a particulei. Am putea identifica această asimetrie cu impulsul particulei şi s-o explicăm prin existenţa cîmpurilor locale legate de distribuţia neomogenă a materiei în spaţiul care ne înconjoară. Dar ce cîmp explică simetria, împrăştierea statistică a deplasărilor elementare care face ca viteza macroscopică a particulei să fie mai mică decît viteza luminii ? Cu o asemenea împrăştiere statistică se deplasează particulele care posedă masă de repaus. Este firesc să identificăm masa de repaus cu simetria probabilităţilor deplasărilor elementare şi să explicăm existenţa ei prin caracterul omogen al metagalaxiei. Din caracterul omogen al metagalaxiei (în cadrul căreia devin neglijabile chiar şi asemenea perturbări ale omogeneităţii ca galaxiile şi acumulările de galaxii) rezultă că aceeaşi „grosime“ a universului influenţează particula din toate părţile ; tocmai acest fapt explică simetria probabilităţilor deplasărilor elementare.

Expunînd aceste construcţii ipotetice, cred că nu mă depărtez de tema prognozei, nu substitui problemei direcţiei în care înaintează ştiinţa problema modului în care este structurată natura. Construcţiile expuse mai sus, după cum am menţionat în repetate rînduri, sînt nişte ilustrări convenţionale ale tendinţei

reale de unificare a noţiunilor de cosmos şi microcosmos. S-a încheiat o perioadă de lungă durată în care ultima verigă a analizei naturii lucrurilor au fost „cărămizile“ microscopice ale edificiului cosmic. Acum nu numai comportarea, ci şi existenţa particulelor elementare se dovedeşte a fi legată de sistemul cosmic autocoordonat, care cuprinde întreaga metagalaxie.

De aici decurg unele particularităţi ale stilului şi ritmului dezvoltării actuale a ştiinţei. Ştiinţa însăşi devine un sistem autocoordonat, în care noţiunile dintr-un domeniu capătă sens numai cu condiţia existenţei noţiunilor corespunzătoare din alte domenii. Încă nu demult se putea vorbi despre dinamica particulelor de un tip, fără ca aceasta să comporte probleme, contradicţii, dificultăţi, depăşirea lor sub forma de noi noţiuni în cadrul dinamicii altor particule. Cînd este vorba despre o teorie unitară a particulelor, despre energiile înalte, despre transformări care limitează sau modifică dinamica particulelor date şi identice sieşi, de un anumit tip, nu mai putem menţine bariere despărţitoare între cercetările închinate diverselor tipuri de particule. Corespunzător se schimbă raportul dintre cercetările ce se referă la diverse interacţiuni. În trecut ele erau repartizate pe domenii relativ depărtate : oamenii de ştiinţă se interesau de gravitaţie cînd se vorbea de regiunile cosmice, interacţiunile electromagnetice explicau fenomene cuprinse într-un registru larg, începînd cu geofizica şi terminînd cu fizica atomică, iar interacţiunile tari erau invocate cu prilejul studierii nucleelor. Acum toate acestea s-au schimbat. Colapsul gravitaţional este folosit nu numai pentru a explica destinul stelelor, ci şi pentru a explica microprocesele, de pildă transformarea maximonilor lui Markov în particulele cunoscute de noi.

Toate acestea fac să apară o legătură specifică nemaicunoscută în trecut între descoperirile particulare şi concepţia generală despre edificiul cosmic. O descoperire particulară este în multe cazuri atît de paradoxală, încît implică revizuirea concepţiei generale. Aceasta se întîmpla uneori şi în trecut, dar în asemenea cazuri implicaţia menţionată era o „interacţiune slabă“ :

de pildă, între experimentele care nu au confirmat existența vîntului eteric și teoria relativității s-a scurs un pătrar de secol.

Un exemplu caracteristic al „interacțiunii tari" din zilele noastre între o descoperire particulară și concepția fundamentală îl constituie descoperirea experimentală a neconservării parității cu prilejul dezagregării unor anumite particule și concepția generală care a explicat acest rezultat. Le-a despărțit doar un interval de cîteva luni. Caracterul discret al progresului ideilor fundamentale se atenuează astăzi. Intervalurile dintre generalizări se apropie uneori de intervalurile dintre numerele consecutive ale principalelor reviste de fizică. Progresul cunoștințelor fundamentale devine practic continuu. Desigur, generalizările fundamentale care apar neîncetat nu sînt univoce, nu posedă atributul unicității, nu sînt confirmate de un experiment crucial și adesea nici nu sugerează caracterul unui asemenea experiment hotărîtor. Dar apariția unei noi baze experimentale, fără a opri apariția generalizărilor fundamentale, va înlocui într-o măsură considerabilă acest stil al filozofiei naturii prin unul univoc. De altfel, poate că expresia „stil al filozofiei naturii" nu este corectă : concepțiile fundamentale care apar astăzi reprezintă în fond o elaborare a problemelor pe care omul le va pune în fața naturii cu ajutorul mijloacelor experimentale despre care se va vorbi în următoarele două capitole ale acestei lucrări.

Fluxul continuu al generalizărilor fundamentale univoce modifică dinamica civilizației. Principiile fundamentale ale științei reprezintă pentru aceste teorii, din punctul de vedere al *perfecțiunii interioare* einsteiniene a teoriilor fizice, un canon director ; pentru a nu fi artificiale, introduse ad-hoc, ele trebuie să decurgă în mod firesc din principiile fundamentale.

V. Weisskopf [1] face distincție între orientarea „intensivă" și cea „extensivă" în dezvoltarea științei secolului al XX-lea. Prima constă în căutarea unor principii fundamentale. Etapele principale ale cercetărilor

[1] Vezi revista „Uspehi fiziceskih nauk", 1965, *56*, 4, 601.

intensive au fost electrodinamica şi relativitatea, teoria cuantică a atomului, fizica nucleară şi, în sfîrşit, fizica subnucleară. Fiecare orientare devine cu timpul un ax în jurul căruia se grupează un număr mult mai mare de orientări extensive. Sub această denumire Weisskopf înţelege explicarea fenomenelor de pe poziţiile unui principiu fundamental deja cunoscut. Chiar în cercetările cele mai extensive, spune el, este prezentă o componentă intensivă.

Putem afirma că prognoza pentru anul 2000 trebuie să pornească de la o nouă corelaţie între cercetările intensive şi cele extensive, de la „interacţiunea tare" menţionată mai sus între unele şi celelalte. După ce va intra în funcţiune o nouă generaţie de acceleratori de particule şi vor fi realizate un şir de posibilităţi legate de cercetările astrofizice şi astronomice ultraatmosferice şi extraterestre, se va crea o situaţie în care o nouă idee fundamentală va induce într-un timp foarte scurt cercetări extensive. Acestea din urmă vor duce adesea la rîndul lor la probleme fundamentale, iar noile posibilităţi ale experienţei vor permite oamenilor de ştiinţă să nu aştepte prea mult un experiment crucial pentru a soluţiona aceste probleme într-un fel sau altul.

Cercetările extensive sînt cercetări care inaugurează noi cicluri ideale. Aceste cicluri noi reprezintă canoane directoare pentru progresul tehnic. Evoluţia lor, practic continuă, duce la o acceleraţie practic continuă a progresului. Dacă se schimbă însă principiile fundamentale (canoanele directoare ale cercetărilor extensive), progresul tehnic capătă o acceleraţie care creşte.

Nu trebuie să ne imaginăm însă că ritmul de creştere a acceleraţiei va fi monoton. Dezvoltarea principiilor fundamentale — evoluţia în direcţia intensivă — nu va păstra intervalele caracteristice pentru prima jumătate a secolului al XX-lea (teoria relativităţii, mecanica cuantică, teoria nucleului atomic, problemele subatomice). Probabil că intervalele se vor reduce, dar o anumită ciclicitate se va menţine. Desigur, cotituri egale în importanţă cu crearea teoriei relativităţii nu se vor produce în fiecare an. Efectul unor ase-

menea cotituri constă în creşterea continuă a accelerației progresului, deoarece fiecare cotitură fundamentală accelerează impulsul unei anumite perioade, ritmul cercetărilor extensive.

De aceea nu trebuie să ne închipuim nici că „interacțiunea tare" a cercetărilor fundamentale şi extensive înseamnă contopirea sau nediferențierea lor. Cercetările care modifică principiile de bază, idealurile şi stilul științei, care dau un efect în principiu nedeterminabil şi de cele mai multe ori îndepărtat vor constitui într-o anumită măsură un grup aparte. În această ordine de idei aş dori să fac o remarcă cu privire la tipul de savant caracteristic unei epoci în care sistemul autocorelat al cercetărilor intensive şi extensive îşi orientează eforturile spre cunoaşterea sistemului autocorelat al cosmosului şi al microcosmosului. În cercurile ştiinţifice se fac uneori auzite regrete că astăzi e pe cale de dispariţie tipul savantului ermit, care se izolează pe culmile abstracte ale gîndirii, în zone unde nu ajunge zgomotul polifon al ştiinţei extensive. Mie, dimpotrivă, mi se pare că acest tip de om de ştiinţă nu va dispărea, ci, dimpotrivă, va fi în viitor mai răspîndit decît astăzi.

Desigur, „savantul-ermit" de la sfîrşitul secolului al XX-lea se va deosebi de prototipul său din prima jumătate a secolului. Dacă li se potriveşte calificativul de „ermiţi", aceasta este valabil numai într-un sens foarte specific. Este vorba de posibilitatea de a face să avanseze mult principiile ştiinţei în condiţiile unei „interacţiuni slabe" cu o masă mare şi în rapidă creştere de probleme particulare şi rezultate particulare. Cu această activitate nu vin în contradicţie nici interesul personal al gînditorului pentru anumite probleme particulare, nici regula principială potrivit căreia trebuie să existe o posibilitate de verificare experimentală a teoriei („justificare exterioară"). Einstein manifesta interes pentru zeci de probleme ştiinţifice particulare (ca, de pildă, cauza pentru care malul drept al fluviilor care curg spre sud este săpat într-o măsură mai mare de ape decît malul stîng), precum şi pentru zeci de invenţii tehnice (şi aceasta nu numai în perioada

cît a fost salariat al biroului de patente din Berna). Şi totuşi el a fost un „savant-ermit" în sensul că punctul de plecare al teoriei relativităţii l-a constituit un număr foarte mic de experienţe. Afară de aceasta, să amintim afirmaţia lui Einstein că electronul în sine ar fi suficient pentru a deduce toate legile microcosmosului (menţionăm în paranteză că această afirmaţie era justă în anii 1924—1927, cînd se elabora mecanica ondulatorie şi cuantică).

Astăzi situaţia s-a schimbat. Problema care se pune — aceea de a realiza unificarea cunoştinţelor existente despre diversele tipuri de particule — nu poate fi rezolvată în ansamblu pe baza legilor de comportare, apariţie şi dezintegrare a particulelor de un singur tip. Şi cu toate acestea, fiecare proprietate paradoxală proprie unui tip sau cîtorva tipuri de particule îndeamnă la reflecţii despre natura spaţiului şi a timpului, despre simetria lor, despre caracterul lor discret sau continuu, despre noţiunile logice şi matematice, despre ceea ce deosebeşte existenţa fizică de imaginile geometrice. Acelaşi efect îl au descoperirile astronomice şi astrofizice. De aceea „interacţiunea slabă" cu ştiinţa extensivă se va menţine, pe cît se pare, şi, corespunzător, se va păstra şi tipul „savantului-ermit".

După cum am mai spus, acest tip de savant poate chiar să capete o răspîndire mai mare. Ciclurile de cercetări extensive generate de deschiderea intensivă a drumului spre noi principii fundamentale duc la o schimbare legitimă în ce priveşte interesele predominante în ştiinţă. Drept exemplu poate servi ciclul generat de modelul atomic al lui Bohr. Cînd a fost elaborat acest model, au început cercetările extensive, care explicau spectrele atomilor, valenţa, periodicitatea şi încălcările ei în sistemul elementelor, precum şi multe alte aspecte legice. Acest ciclu continuă şi astăzi. I se suprapun alte cicluri, de dată mai tîrzie, care au alcătuit fizica nucleară. În general, suprapunerea diverselor cicluri extensive face să crească continuitatea practică a înrîuririi ştiinţei asupra progresului civilizaţiei. Dar la începutul deceniului al treilea, paralel cu continuarea folosirii modelului Bohr, a început să se simtă pregnant

necesitatea unor principii noi, care au şi fost găsite în anii 1924-1926 de către gînditori legaţi uneori printr-o „interacţiune slabă“ de *aplicaţiile* modelului lui Bohr, şi care în acest sens pot fi numiţi „savanţi-ermiţi“.

Astăzi principiile fundamentale ale teoriei relativităţii, ale mecanicii cuantice şi ale mecanicii cuantice relativiste au generat prin inducţie un foarte mare ciclu de cercetări extensive şi de descoperiri care împreună cu aceste principii formează fizica atomică şi nucleară. Dar un număr tot mai mare de aporii, contradicţii, dificultăţi îndeamnă gîndirea ştiinţifică spre căutarea de noi principii. Se pare că această cotitură se va accentua în deceniile următoare. Gînditorii care îşi închină eforturile problemei quarcilor, problemei caracterului discret al spaţiului, deosebirii dintre proprietăţile substanţiale ale particulei şi linia ei de univers, problemei universului finit sau infinit, sînt nişte „savanţi-ermiţi“ într-un sens care nu are nimic comun cu vreo izolare intelectuală. Căci întrebările de acest gen care vor fi puse naturii, deşi în parte se vor dovedi poate lipsite de sens, într-un fel sau altul vor fi totuşi soluţionate prin lucrări colective de mare amploare — experimentale, teoretice şi de calcul.

9
Fizica energiilor înalte

La începutul acestei lucrări s-a vorbit despre prognoza complexă care cuprinde o serie de mutaţii conexe din domeniul energeticii, tehnologiei, conducerii proceselor de producţie şi al caracterului muncii. Aceste mutaţii, reunite prin termenul convenţional „secolul atomic", sînt direct legate, pentru a folosi în continuare termenul lui Weisskopf, de cercetările extensive care au creat fizica atomică şi nucleară şi care au fost induse de înaintarea ştiinţei în general spre principiile relativiste şi cuantice. Dar secolul atomic, ca orice perioadă a civilizaţiei, trebuie să includă direcţii ale gîndirii ştiinţifice care să pregătească perioada următoare, perioadă cu un grad superior de dinamism.

În secolul atomic această pregătire este legată de orientarea intensivă a ştiinţei : de căutarea unor noi principii fundamentale menite să genereze prin inducţie fizica subnucleară.

Fizica subnucleară este fizica particulelor care fac parte sau nu din nucleele atomice, dar se află pe aceeaşi treaptă a scării ierarhice a particulelor de substanţă ca şi nucleonii. Aceste particule, spre deosebire de corpurile

discrete mai mari, de molecule, de atomi, de nucleele atomice, nu se mai divid, poate, în verigi inferioare ale ierarhiei menţionate, existente în interiorul lor. Dezintegrarea şi generarea lor nu se reduc în acest caz la o regrupare spaţială a unor subparticule identice sieşi. La ce se reduc aceste fenomene nu ştim deocamdată. Nu cunoaştem, de asemenea, unde sînt localizate întîlnirile, împrăştierile şi transformările particulelor ; nu ştim, de altfel, dacă problema localizării exacte a acestor fapte are vreun sens. Putem doar afirma că aceste fapte se petrec în celule spaţio-temporale foarte mici, într-un spaţiu de ordinul dimensiunilor liniare ale nucleului atomic şi în intervale de timp necesare luminii pentru a parcurge un asemenea spaţiu. S-ar putea să ne aflăm în faţa unui prag spaţio-temporal dincolo de care ajungem într-o lume unde evoluţia evenimentelor ultramicroscopice este subordonată unor principii mai generale şi mai precise decît cele pe care le cunoaştem astăzi. Poate că acest prag se află mai departe, iar lumea ultramicroscopică în care se pot întîlni noile soluţii ale problemelor fundamentale ale naturii se află în celule spaţio-temporale de un ordin mult mai mic. În orice caz, drumul spre noi principii fundamentale, spre justificarea lor exterioară, trece prin studierea experimentală a domeniilor foarte mici în care se desfăşoară procesele pe care sîntem înclinaţi să le considerăm ultrarelativiste.

Pentru aceasta este nevoie ca particulele cu care manipulează experimentatorul să posede energii extrem de *mari*.

Trecerea fizicii de la teoriile atomo-moleculare din secolul al XIX-lea la fizica atomică, iar apoi la fizica nucleară şi subnucleară este o trecere de la energii care se măsoară în sutimi de electronvolt la energii care se măsoară în electronvolţi, iar apoi în milioane şi miliarde de electronvolţi. Atomii din fizica şi chimia clasică în mişcarea lor termică fac schimburi de energii de ordinul unei sutimi de electronvolt, comportîndu-se în aceste procese ca nişte bile solide. Radiaţia electromagnetică a atomilor, care dezvăluie structura lor, posedă o energie care merge de la cîţiva electronvolţi în dome-

niul optic pînă la cîteva sute de mii de electronvolţi în domeniul radiaţiilor X. Structura nucleară se dezvăluie în procese care reclamă energii de ordinul milioanelor de electronvolţi. Începînd cu deceniul al patrulea al acestui secol s-a creat un fel de colaborare în fizica nucleară, iar apoi şi în cea subnucleară între acceleratori care imprimă particulelor energii înalte (din deceniul al patrulea pînă în prezent aceste energii au crescut de la sute de mii la zeci de miliarde de electronvolţi) şi dispozitivele cu ajutorul cărora se studiază razele cosmice [1].

Radiaţiile cosmice sînt nişte fluxuri de particule de diverse tipuri şi cu diverse energii, care vin spre Pămînt din toate părţile spaţiului cosmic. Particulele care intră în radiaţia cosmică posedă uneori energii uriaşe, nerealizabile în acceleratori, dar ele pot fi mai greu mînuite. De cele mai multe ori noile particule şi noile procese au fost identificate mai întîi în radiaţiile cosmice, iar apoi studiate mai detaliat cu ajutorul acceleratorilor. De altfel, în deceniile VI-VII acceleratorii au permis într-o serie de cazuri să fie descoperite particule şi procese cu totul noi. Energia particulelor studiate din radiaţia cosmică a crescut neîncetat, ceea ce a dus la noi descoperiri ; din deceniul al patrulea pînă acum ea a crescut aproximativ în aceeaşi proporţie ca energia particulelor din acceleratori.

La începutul acestei perioade a fost găsit în radiaţiile cosmice pozitronul, a cărui existenţă a fost prezisă de mecanica cuantică relativistă. Descoperirea şi studierea pozitronului nu a reclamat energii foarte înalte, deoarece masa pozitronului (egală cu a electronului) este mai mică şi, pentru a depăşi energia de repaus a electronului şi a pozitronului, corespunzătoare acestei mase, este nevoie de energii de ordinul milioanelor de electronvolţi, pe cînd atunci cînd apar şi se dezintegrează nucleoni şi alte particule şi mai grele avem de-a face cu energii de ordinul miliardelor de electronvolţi.

[1] Vezi E. L. Feiberg, în „Uspehi fiziceskih nauk", 1965, 86, 4, p. 733.

În prezent domeniul de energii în care se desfășoară cercetări intensive ale razelor cosmice a atins trilioane de electronvolți, iar acceleratorii imprimă particulelor energii care ajung pînă la 76 de miliarde de electronvolți. Aceasta este valabil, de pildă, pentru marele accelerator de protoni recent construit la Serpuhov. Mari acceleratori funcționează la Brookhaven (33 de miliarde de electronvolți), la Geneva (28 miliarde de electronvolți), la Dubna (10 miliarde de electronvolți). Pentru a ne face o idee despre funcționarea lor e nevoie de o scurtă informare istorică.

La începutul deceniului al patrulea au fost construite generatoare electrostatice în care particulele încărcate se mișcau rectiliniu în cîmpul electric, căpătînd o viteză tot mai mare. Aproape concomitent au apărut acceleratori ciclici : ciclotroanele. În acestea particula încărcată se mișcă pe o traiectorie circulară într-un cîmp magnetic perpendicular pe planul în care ea se rotește. Ea parcurge periodic intervale în care există cîmp electric și de fiecare dată acest cîmp face să crească viteza și respectiv energia particulei. Particula se mișcă oarecum în spirală, mai exact descrie circumferințe cu o rază tot mai mare, din care cauză, în pofida creșterii vitezei, ea străbate segmentele acceleratoare în intervale egale de timp. În felul acesta particulelor li se imprimă energii de ordinul a zeci de milioane de electronvolți.

În prezența unor energii înalte intră însă în joc relațiile stabilite de teoria relativității : dependența masei de viteză. Masa particulei crește, ceea ce perturbează caracterul sincron al trecerii particulei prin segmentele acceleratoare și maximul cîmpului electric de înaltă frecvență din aceste segmente. În anul 1944 V. I. Veksler, iar în anul 1945 McMillan au propus compensarea creșterii relativiste a masei particulelor prin creșterea corespunzătoare a cîmpului magnetic sau prin micșorarea frecvenței cîmpului electric în segmentele acceleratoare. În deceniul al cincilea masa relativistă a particulelor a început să atingă în acceleratori valori foarte mari. În betatroane, acceleratori de electroni apăruți în 1940, viteza electronilor, care au o energie

de 2 milioane de electronvolţi, se ridică la 0,98 din viteza luminii, iar masa devine considerabil mai mare decît masa de repaus. Dar şi particulele atît de grele ca protonii îşi sporesc considerabil masa datorită energiilor mari utilizate cu începere din deceniul al cincilea. Posibilitatea de a compensa efectul relativist a dus la apariţia unor acceleratori deosebit de puternici. Printre ei se numără şi sincrotroanele şi alţi acceleratori ciclici, care imprimă protonilor energii de miliarde de electronvolţi. Cu ajutorul acceleratorilor, pe de o parte, şi al observaţiilor asupra particulelor radiaţiei cosmice, pe de altă parte, au fost descoperite o mulţime de noi particule şi o mulţime de noi procese de dezintegrare şi generare a acestor particule.

Speranţa elaborării unei teorii a particulelor elementare care va explica această diversitate pornind de la un principiu unitar şi probabil cu totul nou este legată de acceleratorii care vor imprima particulelor energii şi mai înalte. Este vorba de probleme fundamentale la care, după cum sperăm, vor da răspuns experienţe la care vor participa particule cu energii de 200—1 000 de miliarde de electronvolţi. Enumerarea acestor probleme şi aprecierea estimativă a efectului rezolvării lor formează tocmai conţinutul prognozei pentru deceniile următoare. Acestei prognoze îi lipseşte veriga principală : prevederea soluţiei însăşi, răspunsul naturii la întrebările ce i se adresează. Tot atît de nedeterminate şi poate chiar mai nedeterminate sînt consideraţiile privind efectul acestor soluţii. După cum observă Bruno Pontecorvo, din caracterul fundamental al fizicii particulelor elementare decurge şi caracterul neaşteptat al descoperirilor din acest domeniu. „De aceea — scrie el — a pune problema utilizării practice în economia naţională a rezultatelor cercetărilor întreprinse, să zicem, cu ajutorul unui anumit accelerator de înaltă energie este un lucru aproape nelegitim“ [1]. Într-adevăr, pentru cercetările extensive descoperirile pot fi parţial prezise : ele merg pe linia principiilor şi idealurilor ştiinţifice deja

[1] „Uspehi fiziceskih nauk“, 1965, *86*, 4, p. 729.

cunoscute, şi ţelul lor constă în explicarea fenomenelor în lumina acestor principii deja cunoscute. Dar ce te faci atunci cînd însuşi obiectivul cercetărilor constă în căutarea de noi principii ?

De aici rezultă, pare-se, că *a fundamenta* planul construirii unor noi acceleratori mai puternici este o problemă în principiu insolubilă. Prin fundamentare nu trebuie să înţelegem o simplă referire la caracterul general şi profund al întrebărilor pe care le pune naturii fizica energiilor înalte. Trebuie să arătăm că, cu toată incertitudinea răspunsurilor posibile, acest caracter general şi această profunzime caracterizează locul fizicii energiilor înalte printre forţele care asigură dezvoltarea civilizaţiei. Se pare că sintetizarea indicatorilor civilizaţiei, transformarea lor în indicatori *dinamici*, includerea în aceşti indicatori a derivatelor de diferite ordine în raport cu timpul permit găsirea acestui loc.

Tocmai din acest punct de vedere vom considera problemele pe care trebuie să le rezolve (confirmînd sau respingînd totodată sensul însuşi al acestor probleme) fizica energiilor înalte.

Prima problemă este aceea a limitelor spaţio-temporale în cadrul general al interpretării relativiste a naturii. Probabil că această problemă a limitelor cauzalităţii relativiste coincide cu problema caracterului discret al spaţiului-timp. Acest caracter discret are un sens fizic în spiritul „principiului existenţei", dar nu se reduce la problema geometrică a spaţiului abstract discontinuu, dacă în anumite celule minime au loc evenimente care nu pot fi reduse la mişcarea particulelor. De aceea prima problemă duce în mod firesc la a doua : în ce constau evenimentele ultrarelativiste care pun hotar cauzalităţii relativiste în domenii foarte mici şi cum sînt legate ele de procesele relativiste din domeniile mari ?

Din aceste probleme decurg altele, care la prima vedere par a fi particulare, dar, probabil, nu pot fi rezolvate fiecare în parte, ele cerînd o teorie generală. Dintre acestea fac parte problema matricei S a lui Heisenberg, de care am mai vorbit. Nishijima spune

că un element al acestei matrice poate fi imaginat sub forma unei cutii în care intră și din care ies particule [1]. Ce se întîmplă înăuntrul acestei cutii? Ce interacțiuni fundamentale au loc înăuntrul ei? De ce nu îngăduie ele o reprezentare spațio-temporală?

Din problemele cvasiparticulare fac parte cele privitoare la natura interacțiunilor — tari, electromagnetice, slabe și gravitaționale. Sînt oare formate particulele care interacționează intens din particule cu o masă mare, comprimate de interacțiuni deosebit de tari care reduc masa de ansamblu pînă la aceea pe care o constatăm la particulele cunoscute de noi? Ipoteza maximonilor se referă la interacțiuni gravitaționale, respectiv interacțiuni foarte slabe în condiții obișnuite, care comprimă particulele grele, transformîndu-le în altele mai ușoare și în felul acesta generează transformări fundamentale.

Interacțiunile slabe prezintă multe aspecte enigmatice. Nu putem explica astăzi de ce în cazul interacțiunilor slabe particulele se comportă altfel decît în cazul celor tari și avem temeiuri să sperăm că la distanțe mici și respectiv în condițiile unor energii înalte existența și comportarea lor vor fi subordonate legilor generale. Între altele, avem temeiuri să considerăm că în condițiile unor energii înalte de ordinul sutelor de miliarde de electronvolți va putea fi găsită o particulă care să poarte interacțiunile slabe, așa cum fotonul poartă interacțiunile electromagnetice, iar pionul interacțiunile tari ale nucleonilor. Această particulă intermediară încă nedescoperită care poartă interacțiunile slabe a și primit un nume și este desemnată cu litera *W*. Ea va putea fi găsită în stare liberă dacă în cazul unor ciocniri din care va rezulta *W* particulele vor avea o energie mai mare decît energia ei de repaus, adică masa de repaus înmulțită cu pătratul vitezei luminii.

Dar pentru asemenea ciocniri se cere ca în accelerator să se producă o energie cu mult mai

[1] K. Nishijima, în „Uspehi fiziceskih nauk", 1965, *86*, 4, p. 675.

mare a particulelor : pentru particulele W o energie de ordinul sutelor de miliarde de electronvolţi.

Aceste probleme cu aspect mai mult sau mai puţin particular se reduc în ultimă instanţă la următoarele : de ce în natură unele particule interacţionează într-un fel iar altele în alt fel, de ce unele particule — protonul, neutronul şi electronul — formează materia care ne înconjoară, în timp ce alte particule, inclusiv antiparticulele corespunzătoare celor menţionate mai sus, aproape că nu se întîlnesc pe Pămînt în condiţii obişnuite ? De ce particulele posedă masele şi sarcinile pe care le cunoaştem şi nu altele, cu alte cuvinte, de ce microcosmosul (şi implicit şi cosmosul) este creat aşa cum este şi nu altfel ? Această problemă este analogă problemei puse de Kepler : de ce planetele se află la distanţele de Soare la care se află şi nu la alte distanţe ? Ea este într-o măsură şi mai mare analogă problemei : de ce elementele au valenţele şi greutăţile atomice cunoscute şi nu altele ? La această întrebare a dat răspuns mecanica cuantică, explicînd de ce electronii se dispun într-un anumit număr pe fiecare dintre orbite, de ce se încalcă periodicitatea normală etc. În cazul teoriei particulelor elementare s-au făcut doar primii paşi pentru construirea unui sistem asemănător cu sistemul lui Mendeleev. S-a înregistrat un prim succes : unele particule au fost prezise pe baza sistematizării intuite a particulelor cu interacţiune tare, iar ulterior descoperite experimental [1]. Dar pentru a avea un sistem de particule elementare care să se afle la nivelul tabelului lui Mendeleev în ceea ce priveşte caracterul lui univoc şi descifrarea lui fizică, trebuie să trecem peste un nou prag energetic.

Astăzi se proiectează acceleratori care să imprime particulelor energii de 200—1 000 de miliarde

[1] Vezi M. Gell-Mann, A. Rosenfeld, J. Chew, în „Uspehi fiziceskih nauk", 1964, *83*, 4, p. 695. Vezi şi W. Fowler, N. Seimisos, în „Uspehi fiziceskih nauk", 1965, *85*, 3, p. 523.

de electronvolţi. La Brookhaven, unde funcţionează un accelerator de 33 de miliarde de electronvolţi, se elaborează proiectul unui accelerator nou de 1 000 miliarde de electronvolţi, cu o cameră de vid circulară, avînd o lungime de peste 20 km. Protonii se vor mişca într-un cîmp magnetic creat de un sistem inelar de 1 400 magneţi de 10 m, greutatea totală a fierului din care vor fi făcuţi fiind de 42 000 de tone. Şi în Europa occidentală se proiectează acceleratori de 300 miliarde de electronvolţi. În U.R.S.S. se elaborează, de asemenea, scheme de acceleratori principial noi [1]. Una dintre ele are la bază fascicule încrucişate de particule.

În acceleratorii despre care am vorbit, particulele, care se mişcă cu mare viteză şi posedă o energie înaltă, bombardează o ţintă fixă. În acest proces doar o mică parte a energiei particulei în mişcare se cheltuieşte pentru generarea de noi particule.

Partea cea mai mare a energiei se consumă pentru un proces pur mecanic: modificarea vitezelor particulelor care se ciocnesc (particula care bombardează ţinta şi particula-ţintă). După ciocnire, particula-proiectil pierde o parte din viteză, iar particula-ţintă cîştigă viteză, aşa încît centrul de greutate al sistemului format de particula-proiectil şi particula-ţintă se deplasează în direcţia ciocnirii. Tocmai pentru această deplasare a centrului de greutate, cu alte cuvinte pentru deplasarea în ansamblu a sistemului format din cele două particule care s-au ciocnit în raport cu acceleratorul, se cheltuieşte partea cea mai mare din energia particulei-proiectil. Ca urmare, paralel cu puterea acceleratorului creşte şi partea de energie care rămîne neutilizată în procesele a căror observare şi studiu constituie obiectul fizicii energiilor înalte. Aceasta se referă în special la ciocnirile de electroni. Dacă un electron cu o putere de 6 miliarde de electronvolţi se cioc-

[1] Se întocmeşte proiectul unui accelerator gigant cu ajutorul căruia se vor putea obţine protoni cu energii pînă la 5 trilioane de electronvolţi. Instalaţia va depăşi prin dimensiunile sale tot ce s-a realizat pînă astăzi în lume în acest domeniu *(N.T.)*.

nește cu un electron fix, aproximativ 5,94 miliarde de electronvolți se consumă pentru deplasarea centrului de greutate al electronului în raport cu acceleratorul. Deplasarea centrului de greutate nu se va produce dacă particulele, în speță electronii, se vor mișca una în intîmpinarea celeilalte. În acest caz fiecare particulă poate fi considerată și drept proiectil și drept țintă. Metoda fasciculelor încrucișate creează posibilități pentru a face experiențe cu particule de masă egală și poate să mărească de mai multe ori energia utilă. În timp ce, de pildă, un accelerator de electroni cu fascicule încrucișate imprimă particulelor o energie utilă de ordinul a 12 miliarde de electronvolți, în cazul unei ținte fixe s-ar cere pentru a obține același efect o putere fantastică a acceleratorului de electroni : el ar trebui să imprime electronilor o energie de ordinul a 100 de trilioane de electronvolți.

Dificultatea principală a realizării metodei fasciculelor încrucișate constă în densitatea mică a țintei pe care o reprezintă fasciculul de particule. Într-o țintă solidă imobilă, cum ar fi un cub cu o muchie de 1 mm, se găsesc 10^{20} atomi, pe cînd în fasciculul cel mai intens numărul de atomi este în același volum de 10^{8} ori mai mic. În ultimii ani au apărut idei care ne permit să sperăm că dificultatea menționată (respectiv mica probabilitate a interacțiunii particulelor în fasciculele care se întîlnesc) va fi învinsă. Se pot acumula particule cu energie înaltă care au trecut prin zeci sau prin sute de cicluri într-un accelerator în forma a două inele avînd o zonă comună unde particulele acumulate după fiecare rotație se întîlnesc iar și iar. Acumularea particulelor cu energie mare și întîlnirea lor repetată face să crească probabilitatea interacțiunii.

Desigur, fasciculele încrucișate nu pot înlocui sistemul cu ținte fixe în studiul interacțiunii diverselor particule. Dar pentru un mare număr de probleme folosirea pe scară largă a metodei fasciculelor încrucișate este posibilă.

Să menționăm în continuare schema acceleratorului cibernetic de 1 000 de miliarde de electronvolți, elaborată în U.R.S.S. În acest accelerator protonii, cărora li

se imprimă în prealabil o energie de circa 18 miliarde de electronvolţi, ajung într-un accelerator inelar cu o lungime a orbitei de ordinul a 17 km. Un element specific al acestei instalaţii îl vor constitui nişte dispozitive care vor înregistra devierea particulelor de la centrul secţiunii făcute în camera cu vid circulară. Asemenea dispozitive transmit informaţia despre devierea fasciculului unei maşini de calcul, care determină modificarea necesară a cîmpului magnetic, iar ca urmare devierea este lichidată în mod automat.

O schemă principial nouă de obţinere a particulelor de energie foarte înaltă a fost propusă de V. I. Veksler în 1956 şi a căpătat o formă practic realizabilă în 1968. Este vorba de utilizarea unui ansamblu de electroni într-un fascicul de ioni pozitivi supuşi accelerării. Asupra particulei acţionează aici nu atît cîmpul electric exterior, cît cîmpurile care apar între particulele cu sarcini diferite în acelaşi fascicul. Să ne închipuim o mică cameră inelară în care se mişcă o aglomerare de electroni. În cameră se introduce o cantitate de ioni cu sarcina pozitivă. Masa fiecărui ion este cu mult mai mare decît masa unui electron. De aceea, aflîndu-se în acelaşi cîmp exterior ca şi electronii, ionii se vor mişca mai încet decît electronii şi vor rămîne în urma lor. Dacă avem însă o aglomerare de electroni suficient de densă, atracţia exercitată asupra ionilor pozitivi de către sarcinile negative — respectiv electronii — va învinge inerţia ionilor şi va face ca şi ei să se mişte cu aceeaşi viteză ca şi electronii. Energia ionilor este proporţională cu masa lor. De aceea cînd electronii şi ionii se vor mişca cu aceeaşi viteză, energia ionilor va fi mult mai mare. Fiecare ion care se va găsi într-o aglomerare densă de electroni va resimţi acţiunea acceleratoare a unui cîmp de mii de ori mai mare decît cîmpul exterior.

Stabilitatea şi caracterul compact al aglomerării de electroni se realizează în pofida respingerii reciproce a electronilor, deoarece atunci cînd electronii se mişcă descriind traiectorii paralele, forţa de respingere scade.

Realizarea acestei idei se prezintă sub forma unei

aglomerări inelare de electroni într-un cîmp magnetic, care, mărindu-se, face ca această aglomerare de electroni să aibă o lungime foarte mică (de ordinul unui decimetru) şi un diametru foarte mic (circa 2 mm). În această aglomerare se introduc ioni pozitivi, aşa încît aglomerarea în ansamblu este accelerată de cîmpul electric exterior în direcţia axei ei, pînă în momentul cînd ionii vor căpăta energia dorită, de o mie sau chiar de cîteva mii de miliarde de electronvolţi.

În felul acesta acceleratorii din noua generaţie vor fi de 10—30 de ori mai puternici decît cei de la Brookhaven şi Geneva şi de 5—10 ori mai puternici decît cei de la Serpuhov. Cheltuielile nu vor creşte însă în aceeaşi proporţie. De pildă, acceleratorul cibernetic va imprima protonilor o energie de 30 de ori mai mare decît cea care se obţine în acceleratorul în funcţiune de la Brookhaven, în timp ce electromagnetul acceleratorului cibernetic este doar de 4—5 ori mai greu.

Cu toate acestea, acceleratorii supraputernici necesită cheltuieli importante de ordinul celor investite în marile complexe industriale, şi construirea lor influenţează într-o anumită măsură structura investiţiilor în ansamblu. Aceasta constituie o cotitură deosebit de importantă în evoluţia civilizaţiei. De la Arhimede pînă în zilele noastre omenirea a cheltuit pentru ştiinţă mai puţine fonduri decît echivalentul a 10 zile de producţie industrială în epoca contemporană [1]. În secolul atomic cercetările ştiinţifice şi în special cele din domeniul fizicii sînt comparabile în ceea ce priveşte costul lor efectiv cu principalele componente ale balanţei de investiţii. Desigur, nu trebuie să ne închipuim că în viitor cheltuielile pentru cercetările fizice vor creşte nelimitat, în acelaşi ritm ca astăzi sau cu aceeaşi acceleraţie. Aceasta ar însemna ca suprafaţa ocupată de institutele ştiinţifice să depăşească în cele din urmă suprafaţa globului, numărul oamenilor de ştiinţă să depăşească populaţia Pămîntului, iar greutatea totală a volumelor

[1] V. Weisskopf, în „Uspehi fiziceskih nauk", 1965, *86*, 4, p. 600.

unei singure reviste de fizică, la care se referă, bunăoară, Oppenheimer [1], să depăşească greutatea globului pămîntesc. După cum am văzut, concluzii asemănătoare se impun din extrapolarea multor indici, care au crescut deosebit de rapid în ultimii ani sau în ultimele decenii. În orice caz, timp de 70—90 de ani investiţiile în cercetările fundamentale vor creşte într-un ritm deosebit de intens. Aceste investiţii sînt de pe acum de ordinul celor alocate unor ramuri importante ale industriei. Faptul acesta transformă oarecum fizica într-o ştiinţă cu caracter economic : prognozele ştiinţifice, care au devenit o parte inseparabilă a fizicii, trebuie să ia în considerare structura optimă a investiţiilor în economia naţională. În acelaşi timp, teoria şi practica economică capătă oarecum un caracter fizic : prognozele economice şi planificarea investiţiilor trebuie să ţină seama de tendinţele obiective ale fizicii.

Necesitatea fizicii energiilor înalte şi a construirii de acceleratori care să imprime particulelor energii de 200—1 000 miliarde de electronvolţi pare indiscutabilă. Principalele argumente invocate în ultimii ani se referă la investiţiile în fizica energiilor înalte ca la condiţii de prim ordin ale progresului civilizaţiei. În această ordine de idei, Schwinger [2] recurge la o comparaţie istorică interesantă. La sfîrşitul secolului al XIX-lea exista un curent care obiecta împotriva deducerii proprietăţilor macroscopice ale corpurilor din structura atomică, pe atunci încă în stadiul de ipoteză (Schwinger are probabil în vedere poziţia lui Mach şi Oswald). În pofida îndoielilor existente, ştiinţa îşi cheltuia însă resursele materiale şi intelectuale pentru experienţe avînd drept scop demonstrarea existenţei atomilor. Aceasta a dus la o nouă etapă în ştiinţă şi la triumful atomisticii. Astăzi avem în faţa noastră noi contururi ipotetice ale microcosmosului. A renunţa la verificarea

[1] R. Oppenheimer, *Trapezele zburătoare*, Moscova, 1967, p. 7 (în l. rusă).

[2] J. Schwinger, în „Uspehi fiziceskin nauk“, 1965, *86*, 4, p. 614.

lor experimentală ar însemna să se renunțe la ridicarea științei pe o treaptă mai înaltă.

R. Oppenheimer[1] folosește un argument prin excelență „einsteinian". Progresul științei, pătrunderea ei în domenii spațio-temporale tot mai mici constituie baza concepției raționale despre lume. „Fără a pătrunde mai departe în domeniul infinitesimal, s-ar putea întîmpla ca de data aceasta eforturile să nu fie încununate de un triumf al rațiunii umane".

Aceste argumente și altele asemănătoare pledează în favoarea fizicii energiilor înalte. În lumina considerentelor propriu-zis fizice apar ca necesare anumite direcții ale investițiilor și anumiți parametri ai acceleratorilor ce urmează a fi construiți. Dacă am reprezenta diagrama tensiunii cîmpului magnetic, a lungimii circumferinței camerei cu vid, a creșterii energiei particulelor după o rotație etc., considerentele fizice ar putea determina combinația optimă a parametrilor, direcția optimă a vectorului în spațiul acestor variabile și în timp. Dar de care factori depind proporțiile investițiilor și viteza de dezvoltare a bazei experimentale a fizicii energiilor înalte ? Cum trebuie justificat ritmul de punere în funcțiune a unor acceleratori de 200—1 000 de miliarde de electronvolți ? Nici argumentele generale, nici considerentele fizice nu dau răspuns la această întrebare. Este, de asemenea, foarte clar că investiții în fizica energiilor înalte de un ordin de mărime care ar putea să ducă la reducerea ritmului de creștere a condițiilor experimentale, industriale și culturale necesare trecerii științei într-o nouă etapă nu ar fi raționale. În ultimă instanță aceste condiții cuprind întreaga balanță a investițiilor, iar investițiile în fizica energiilor înalte trebuie să reprezinte o componentă a balanței economice *optime*.

Ar fi foarte simplu dacă am putea determina efectul economic cantitativ al cercetărilor fundamentale și, pornind de la efectul maxim, să determinăm ponderea investițiilor în fizica energiilor înalte în ipoteza balanței optime a investițiilor. Dar aceasta este imposibil

[1] R. Oppenheimer, *op. cit.*, p. 597.

Cînd spunem că știința fundamentală asigură creșterea accelerației productivității muncii, această mărime rămîne un simbol care principial este imposibil de descifrat sub forma unui indice cantitativ.

Pentru fiecare accelerator, ritmul construcției este determinat de condițiile de proiectare și construcție obișnuite ; numărul acceleratorilor trebuie să corespundă numărului diverselor scheme teoretic fundamentate și, ceea ce este esențial, existenței unor mari școli de oameni de știință care să posede de pe acum experiența proiectării de mari acceleratori, cercetării diverselor probleme cu ajutorul fasciculelor de particule de mare energie și pe care activitatea lor teoretică i-a confruntat cu noi probleme care reclamă fascicule cu o energie de 200—1 000 de miliarde de electronvolți.

Și totuși ritmul de dezvoltare a fizicii energiilor înalte este determinat de problema „pentru ce ?". Această problemă, în sensul pe care-l cunoaștem din cele de mai sus — al creșterii maxime a indicilor dinamici ai civilizației — se referă la construcția de acceleratori și putem atribui cercetărilor fundamentale un efect economic. După cum am văzut, noțiunea de efect economic se transformă și se generalizează, include ca indicatori viteza și accelerația creșterii forțelor de producție.

Dar efectul economic nu se limitează la acești coeficienți determinabili sub raport cantitativ (determinabili în anumite limite, fiind inevitabilă o anumită nedeterminare a componentelor indicelui economic fundamental). S-a mai spus în această lucrare că creșterea accelerației productivității muncii (trecerea la valori tot mai mari ale accelerației) este o mărime care nu poate fi descifrată din punct de vedere cantitativ, cel puțin pentru moment. Dar din mecanismul accelerației rezultă cu întreaga certitudine posibilă în asemenea probleme o concluzie calitativă : cercetările intensive generează cicluri de accelerare a cercetărilor extensive și a rezultatelor lor, adică de înnoire accelerată a acelor scheme fizice ideale care reprezintă canoane directoare ale progresului tehnic.

Progresul ştiinţifico-tehnic nu este reprezentat numai de noi maşini şi de noi canoane ideale pentru construirea lor. Efectul economic nu este nici el reprezentat doar de rezultatul folosirii de noi maşini în producţie şi de noi canoane în construirea lor. În activitatea sa de muncă, care include cunoaşterea legilor edificiului cosmic, omenirea trebuie să acorde o parte din resursele sale materiale şi spirituale pregătirii unei noi etape a civilizaţiei, unor noi coeficienţi ai accelerării ei. Rezultatul unei asemenea pregătiri prealabile nu poate fi determinat cantitativ, ceea ce nu înseamnă că el nu face parte din noţiunea de efect economic. De aici urmează doar că în secolul atomic, în care ştiinţa modernă trece la noi principii fundamentale şi la noi idealuri, noţiunea de efect economic cuprinde o componentă calitativă — trecerea previzibilă calitativ la noi coeficienţi ai accelerării forţei productive a muncii ca bază economică a progresului şi civilizaţiei.

Din acest punct de vedere argumentele invocate mai sus în favoarea fizicii energiilor înalte — necesitatea ei pentru victoria ideilor raţionaliste în ştiinţă (Oppenheimer) şi fraza lui Schwinger : „Concepţia despre lume oferită de fizică determină nivelul tehnicii şi al culturii societăţii şi trasează drumul spre progresul ulterior" — capătă o semnificaţie economică. E vorba de potenţialul actual al ştiinţei, iar acesta este în funcţie de generalitatea problemelor experimentale şi teoretice cu care este confruntată ştiinţa ca cel mai dinamic element al forţelor de producţie, ca element care dă efectul cel mai mare sub raportul dinamismului.

10
Cosmosul

A. A. Fridman, autorul uneia dintre cele mai strălucite expuneri ale teoriei relativității, scrisă în anul 1923 sub titlul *Lumea ca spațiu și timp*, și-a luat drept moto următorul pasaj din *Materialele istorice ale lui Fedot Kuzmici Prutkov* [1] : „Odată, cînd noaptea acoperise cerul cu vălul ei, filozoful francez Descartes ședea pe treptele scării ce ducea în casa lui și contempla cu cea mai mare atenție orizontul întunecos. Un trecător îi puse întrebarea : «*Spune-mi, înțeleptule, cîte stele* sînt pe cerul acesta ?». «*Nemernicule !* — răspunse celălalt — *nimeni nu poate cuprinde necuprinsul !*». Aceste vorbe rostite cu mare aprindere avură asupra trecătorului înrîurirea dorită".

În primele rînduri ale cărții sale, care urmează imediat după acest moto, A. A. Fridman spune : „Întotdeauna s-au găsit în rîndurile omenirii gînditoare și tre-

[1] *Materialele istorice ale lui Fedot Kuzmici Prutkov*, titlul uneia din operele grotești ale lui Kozma Prutkov, pseudonim al unui grup de scriitori format din A. K. Tolstoi și frații Jemciujnikov. Kozma Prutkov este tipul unui filistin îngîmfat, care se crede poet și gînditor. (*N.T.*).

cători curioşi, şi înţelepţi mai amabili decît Descartes, care au încercat mereu, în ciuda faptului că datele ştiinţifice de care dispuneau erau de fiecare dată cu totul neînsemnate, să reconstituie imaginea lumii" [1]. În cele cîteva decenii ale secolului al XX-lea care ne-au mai rămas, aceşti înţelepţi amabili vor da întrebărilor puse de diverşii trecători cu privire la univers răspunsuri care nu se vor mai baza pe date chiar atît de neînsemnate. Astăzi nu mai este vorba însă numai de numărarea corpurilor discrete existente în univers. Problema cosmologică nu este numai, şi poate nu este atît problema corpurilor discrete aflate în interacţiune, cît problema cîmpurilor diferite prin natura lor. Dar deosebirea cea mai esenţială constă în faptul că astăzi, fără construcţii teoretice care să cuprindă metagalaxia în ansamblul ei, nu putem înainta cu suficientă rapiditate în acele domenii fundamentale ale ştiinţei, care conferă epocii noastre dinamismul ce o caracterizează.

Tabloul clasic al corpurilor în interacţiune — stele, planete şi comete — a apărut ca urmare a primei revoluţii astronomice, produsă de telescop. Cînd Galilei, îndreptîndu-şi luneta în 1610 asupra cerului, a descoperit natura discretă a Căii Lactee şi alte fapte necunoscute pînă atunci şi şi-a expus descoperirile în *Nuncius sidereus*, a început perioada demonstrării, aprofundării teoretice şi concretizării sistemului lui Copernic, adică a tabloului unor corpuri aflate în interacţiune fără imaginarele „mişcări naturale" ale cosmologiei peripatetice.

Noua revoluţie astronomică care a început la jumătatea secolului al XX-lea (ea continuă astăzi şi are toate şansele de a cuprinde sfîrşitul secolului şi poate chiar începutul secolului următor) va duce, pe cît se pare, la confirmarea şi concretizarea cosmologiei relativiste, a tabloului unui spaţiu dotat cu o curbură a cărei rază se schimbă o dată cu scurgerea timpului. Totodată noua revoluţie din domeniul astronomiei ne

[1] A. A. Fridman, *Mir kak prostranstvo i vremia*, ed. a II-a, Moscova, 1965, p. 5.

va permite să vedem în acest spaţiu un joc de cîmpuri în interacţiune, existenţa şi comportarea cuantelor acestor cîmpuri, adică a particulelor elementare.

A doua revoluţie astronomică are drept cel mai general punct de plecare modelul relativist al metagalaxiei şi caută să-l pună în legătură nu numai cu gravitaţia, ci şi cu diversele tipuri de cîmpuri. În ce priveşte mijloacele de observaţie, punctul de plecare al noii revoluţii astronomice constă în primul rînd în observaţiile efectuate de pe sateliţi şi nave cosmice, şi în al doilea rînd în înlocuirea, mai exact în completarea ochiului uman cu aparate astrofizice, care captează undele electromagnetice nu numai din domeniul optic, ci şi din alte domenii, precum şi fluxurile diverselor particule, în afară de radiaţia electromagnetică.

Sateliţii artificiali ai Pămîntului şi navele cosmice au creat de pe acum posibilitatea de a studia obiectele astronomice eliminînd acţiunea perturbatoare a atmosferei terestre. Prognoza pentru anul 2000 permite să prevedem cu mare probabilitate efectuarea unor observaţii de pe suprafaţa Lunii şi de pe suprafaţa planetelor Mercur, Venus şi Marte sau de pe nişte orbite apropiate de acestea. Posibilitatea de a transporta aparate astronomice şi astrofizice pe planetele din grupul Terrei reprezintă punctul de plecare al prognozelor de dezvoltare a astronomiei pentru anul 2000. În prezent, în rachetele cosmice încă nu este folosită energia nucleară. Dar în prognozele pentru anul 2000 folosirea ei este prevăzută. În acest sens cosmonautica, care astăzi are încă o bază energetică de sine stătătoare, va resimţi în viitor efectul de rezonanţă al energiei nucleare şi va depinde de progresul ei (ceea ce ne îndreptăţeşte să completăm denumirea erei atomice, considerînd-o eră cosmo-atomică).

Există şi o altă legătură, mult mai fină, între perspectivele astronomiei şi acelea ale fizicii nucleare. Este vorba de faptul că rezultatele observaţiilor astrofizice sînt explicate prin reacţiile nucleare cunoscute în fizică.

Transferarea modelelor nucleare din microcosmos în astronomia stelară duce la rezultate deosebit de

importante dacă examinăm așa-numita *secvență principală* a stelelor. Acest din urmă termen, introdus de Eddington, are următoarea semnificație.

Stelele constau în cea mai mare parte din plasmă, respectiv din nuclee de hidrogen sau protoni și nuclee de heliu, amestecate cu electronii desprinși din ele. Afară de aceasta, în stele sînt prezente în număr relativ mic nuclee ale unor elemente mai grele : oxigen, azot, carbon, fier și altele. Stelele țin de diverse clase spectrale, distingîndu-se după culoare. Culoarea depinde de temperatură ; ea poate fi roșiatică, gălbuie, iar în cazul celor mai înalte temperaturi — albă și albăstruie. Pe de altă parte, stelele se deosebesc după luminozitate sau după cantitatea de energie emisă de stea într-o unitate de timp. Luminozitatea este legată de strălucirea aparentă a stelei ; aceasta din urmă depinde, de asemenea, de distanță și, dacă reducem toate stelele la o distanță standard convențională, luminozitatea va reprezenta măsura magnitudinii absolute a stelelor. Razele stelelor variază între limite cu o amplitudine foarte mare : există stele care nu depășesc ca mărime Pămîntul („piticele albe“) în timp ce altele au un volum în care ar încăpea nu numai Soarele, ci și orbitele planetelor din grupul Pămîntului. Masa variază într-o măsură mai mică, deoarece stelele mari pot avea o densitate de miliarde de ori mai mică decît stelele mici.

La cele mai multe stele există o corespondență între luminozitate și culoare : dacă pe o axă orizontală vom însemna la dreapta originii clasele spectrale corespunzătoare unei temperaturi tot mai mici a stelelor, iar pe axa verticală valorile tot mai mari ale luminozității, vom constata că majoritatea stelelor se situează de-a lungul diagonalei care merge din partea din stînga sus, adică din domeniul luminozităților mari și a temperaturilor mari, în partea din dreapta jos, adică în domeniul luminozităților mici și al temperaturilor mici. Tocmai aceasta reprezintă „secvența principală“ a stelelor : pe diagramă, o dată cu scăderea temperaturii stelelor și schimbarea culorii lor de la albastru și alb spre galben și apoi spre roșu, scade luminozitatea.

În afara secvenței principale se află stelele cu o luminozitate foarte mare („gigantele“ și „supragigantele“), dar aparținînd clasei spectrale care corespunde unei temperaturi relativ mici ; ele se disting prin lumina roșiatică (uneori gălbuie) și se numesc „gigante roșii“. În afara secvenței principale se situează pe diagramă și grupul de stele din clasa spectrală superioară, cu o luminozitate relativ mică („piticele albe“). Evoluția stelelor care se situează de-a lungul secvenței principale se explică prin desfășurarea proceselor nucleare. Sursa principală a energiei stelare este reacția termonucleară, formarea de nuclee de heliu din protoni. Prezența unei stele în secvența principală corespunde acțiunii determinante a reacției termonucleare asupra radiațiilor emise de stea. Evoluția unei stele de pe secvența principală, adică modificarea spectrului radiației ei și modificarea corespunzătoare a luminozității (corespunzătoare în sensul că steaua rămîne pe secvența principală) se prezintă în lumina fizicii nucleare în felul următor [1].

Să presupunem că substanța interstelară a început să se condenseze și apoi sub influența gravitației norul inițial a format o sferă gazoasă opacă.

Forțele gravitației comprimă această sferă, temperatura ei crește, dar nu atinge încă valori mari, din care cauză lumina stelei se apropie de roșu, în timp ce luminozitatea, care depinde de masă, poate să fie foarte mare. În continuare, comprimarea gravitațională face să crească temperatura, culoarea stelei începe să corespundă luminozității ei, iar steaua se situează în secvența principală. Acum temperatura stelei permite declanșarea reacției termonucleare, care la rîndul ei întreține temperatura și prin urmare și spectrul de radiație al stelei la un nivel care se modifică lent. Tot atît de lent se modifică și luminozitatea stelei. Dacă însă masa ei este mare și radiația foarte intensă

[1] Vezi I. S. Șklovski, *Vselennaia. Jizn. Razum*, ed. a II-a, Moscova, 1965, pp. 41—51. A. G. Masevici, *Evoliuția zvezd* (în culegerea *Nauka i celovecestvo*, Moscova, 1964, pp. 343—357).

(cazul „gigantelor albastre"), după cîteva milioane de ani steaua își pierde rezervele de hidrogen, protonii se transformă relativ repede în nuclee de heliu, iar steaua devine un glob de heliu a cărui luminozitate nu mai corespunde spectrului ei. Dar curînd (la scara cosmică a timpului) începe o nouă reacție nucleară. Trei nuclee de heliu se transformă într-un nucleu de carbon. Dacă temperatura va continua să fie mare, pot avea loc și alte reacții nucleare, care se încheie cu formarea fierului, acesta nemaiputînd participa la reacții nucleare cu degajare de energie. Pentru o stea cu o masă apropiată de masa Soarelui, întreaga evoluție poate dura circa 10 miliarde de ani.

Aceste calcule sînt direct legate de fizica nucleară și deosebit de caracteristice pentru știința secolului atomic. La baza lor se află reprezentări despre reacții nucleare care deocamdată nu au o aplicare practică, dar reprezintă obiectul principal al cercetărilor experimentale și teoretice. Aici se manifestă însă și un alt aspect al erei atomice. Dacă evoluția stelelor a putut fi exprimată în determinări cantitative, dacă durata etapelor ei, temperaturile, razele, luminozitățile și spectrele stelelor au putut fi calculate, aceasta n-ar fi fost cu putință fără ajutorul mașinilor electronice de calcul.

Pentru stelele cu o masă apropiată de masa Soarelui, pentru cele cu o masă ceva mai mică sau ceva mai mare (pînă la 1,2 din masa Soarelui), ultimele etape ale biografiei constau în transformarea lor în „pitice albe", după care urmează răcirea. Masa lor rămîne de ordinul masei Soarelui, în timp ce dimensiunile se reduc considerabil, apropiindu-se de ale Pămîntului. În această situație, densitatea ajunge la zeci de tone pe 1 cm^3. O soartă asemănătoare poate avea și „giganta roșie" dacă își va rupe învelișul, își va dezgoli nucleul incandescent (adică va trece într-o altă clasă spectrală) și își va micșora masa.

„Piticele albe" pot exista un timp îndelungat, miliarde de ani, răcindu-se treptat și transformîndu-se în niște „pitice negre" care nu mai radiază. Stabilitatea relativă a „piticelor albe" se explică prin legități pur cuantice.

Intr-o „pitică albă" nu mai au loc reacţii termonucleare care degajează energii mari. Epuizarea combustibilului nuclear perturbează echilibrul (caracteristic pentru secvenţa principală) între comprimarea gravitaţională şi presiunea particulelor de plasmă incandescentă. Aici intră însă în joc legea descoperită de Pauli, potrivit căreia doi electroni nu se pot afla în aceeaşi stare. În condiţiile unei mari densităţi a plasmei, care constă din nuclee şi electroni, electronii cu o viteză egală ajung foarte aproape unul de altul şi interdicţia lui Pauli se exprimă în „respingerea" lor reciprocă, respectiv în elasticitatea gazului electronic [1].

S-a vorbit mai sus despre apariţia stelelor din materia difuză, dispersată, acesta fiind punctul de plecare al evoluţiei lor. Există şi o altă concepţie : stelele s-au format din corpuri dense. [2] Această teorie, promovată de V. A. Ambarţumian şi şcoala sa, are o „pondere prospectivă" mare : există temeiuri să presupunem că în sprijinul acestei concepţii se vor putea aduce în următorii ani şi în următoarele decenii noi argumente.

Teoria evoluţiei stelelor se sprijină pe teoria reacţiilor nucleare şi pe teoria gravitaţiei. Cît timp ne ocupăm de secvenţa principală şi de etapele anterioare ale evoluţiei, este vorba despre gravitaţia corespunzătoare teoriei lui Newton. Există însă procese de natură gravitaţională care depăşesc, poate, cadrul teoriei lui Newton. Aceste procese perturbează evoluţia normală a stelei, legată de reacţiile nucleare şi de forţele gravitaţionale „obişnuite" (adică subordonate legii lui Newton). În cazul unor asemenea cataclisme steaua degajează într-un interval scurt de timp mai multă energie decît miliarde de stele, decît o galaxie întreagă. Asemenea procese reprezintă, poate, cauza a ceea ce se numeşte explozia *supernovelor*. Stelele noi sau *novele* apar frecvent : vreo 100 pe an în galaxia noastră ; supernovele apar în

[1] Vezi descrierea acestei situaţii şi a evoluţiei stelelor în ansamblu, în articolul lui D. N. Novikov *O konecinoi sudbe zvezd* (culegere *Buduşcee nauki,* II, Moscova, 1968, pp. 111—123).

[2] A. V. Ambarţumian, *Osnovnaia problema kosmologhii* (culegerea *Buduşcee nauki,* I, 1966, pp. 92—100).

galaxiile mari, în medie, o dată la 100 de ani. În galaxia noastră ultima supernovă a apărut în 1604. Astăzi, cînd, recepționînd și măsurînd și alte radiații în afară de cea optică, putem observa o mulțime de galaxii, s-a acumulat un număr destul de mare de observații, mulțumită cărora putem să înțelegem mai bine natura exploziei supernovelor. Putem presupune să supernovele apar uneori din stele care au parcurs înainte de aceasta o evoluție lungă, iar alteori din stele tinere cu o masă destul de mare, care depășește de două sau de mai multe ori pe aceea a Soarelui. Ele formează o dată cu explozia lor nebulozități gazoase, care se deosebesc printr-o radioactivitate mare și printr-o puternică radiație optică și Roentgen. V. L. Ghinzburg și I. S. Șklovski consideră că exploziile supernovelor reprezintă sursa principală a radiației cosmice. Problema originii radiației cosmice este una dintre problemele astrofizice fundamentale, soluționarea ei putînd fi prevăzută pentru sfîrșitul secolului nostru. În această privință observațiile extraterestre efectuate de pe nave cosmice, de pe suprafața Lunii și a planetelor din grupul Pămîntului vor permite să determinăm mai exact compoziția radiațiilor cosmice primare, încă nemodificată de interacțiunea cu atmosfera terestră.

Natura supernovelor încă nu este nici pe departe lămurită. Aserțiunile care se fac astăzi în această privință reprezintă doar niște ipoteze primare, care ilustrează caracterul problemelor astrofizice ce urmează să fie soluționate la sfîrșitul secolului. Este posibil ca în decursul acestui timp să fie confirmată ideea unei explozii provocate de comprimarea gravitațională sub acțiunea forțelor care corespund legii einsteiniene a gravitației. Această idee este cît se poate de caracteristică pentru astrofizica contemporană, pentru tendințele și perspectivele ei.

Am mai vorbit despre „piticele albe", care reprezintă stări finale relativ stabile ale unor stele cu o masă ce nu depășește 1,2 din masa Soarelui. În cazul stelelor cu o masă mare, presiunea gazului electronic este insuficientă pentru a contracara presiunea gravitațională ; aceasta din urmă continuînd, steaua se reduce pînă la dimen-

siuni de ordinul a zece kilometri, căpătînd o densitate fantastică, care depășește densitatea nucleului atomic, respectiv 100 milioane de tone la 1 cm^3. În condițiile unei asemenea densități, electronii liberi se unesc cu protonii, care îi captează, transformîndu-se în neutroni, așa încît steaua va fi alcătuită pînă la urmă din neutroni puternic comprimați. Într-o asemenea stare supradensă nu mai există nuclee atomice complexe. În schimb pot exista particule elementare mai grele decît nucleonii. Aceste particule nu se dezintegrează în cazul unor densități atît de mari.

Pînă la anumite limite elasticitatea substanței supradense poate să se opună comprimării gravitaționale, care însă continuă. Dacă o stea neutronică nu a depășit masa dublă a Soarelui sau a pierdut masa excedentară, ea se va răci treptat. Existența stelelor neutronice nu a fost pînă acum demonstrată. Prognozele din domeniul astrofizicii prevăd, printre alte realizări posibile, descoperirea stelelor neutronice pe baza observării neutrinilor, particule lipsite de sarcină, cu o masă de repaus nulă, a căror radiație trebuie să însoțească reacțiile ipotetice din aceste stele. Este posibil ca stelele neutronice să fie descoperite pe baza observării radiațiilor Roentgen.

O stea neutronică a cărei masă nu depășește masa dublă a Soarelui trece în categoria stelelor care se răcesc, iar apoi în aceea a stelelor răcite, acesta fiind sfîrșitul evoluției sale. Dacă însă, după perturbarea echilibrului dintre elasticitatea datorată reacțiilor nucleare și comprimările gravitaționale, masa stelei va depăși mărimea menționată, elasticitatea substanței densificate și neutronizate nu poate opri comprimarea gravitațională, care în acest caz capătă caracterul unei catastrofe cosmice. O comprimare de o rapiditate catastrofală poartă denumirea de *colaps gravitațional.* Am mai întîlnit acest termen atunci cînd am vorbit despre ipoteza maximonilor. Este vorba de comprimarea unei stele sub influența forțelor gravitaționale care cresc conform legii einsteiniene a gravitației. Potrivit legii lui Newton gravitația crește pînă la valori infinite cînd distanța dintre corpuri tinde către zero. La suprafața

stelei forțele gravitaționale tind spre infinit atunci cînd steaua se reduce la un punct, adică dimensiunile ei se apropie de zero. Potrivit legii lui Einstein, forțele de gravitație tind spre infinit atunci cînd raza stelei se apropie de o anumită mărime proporțională cu masa lor. Pentru Soare sau pentru o altă stea cu aceeași masă raza respectivă este de 3 km. La această distanță de centrul stelei forțele gravitaționale devin infinit de mari, iar viteza particulelor care se apropie sub acțiunea acestor forțe ajunge egală cu viteza luminii. Din teoria relativității decurge pentru acest caz un tablou deosebit de paradoxal. S-ar părea că un corp care se mișcă într-un asemenea cîmp gravitațional va parcurge o distanță uriașă într-un interval de timp scurt. În teoria relativității însă, acest „interval scurt" își pierde sensul absolut. Expresia „interval scurt" are sens pentru un sistem de referință fixat pe steaua însăși. Pentru alte sisteme, de pildă pentru sistemul terestru, acest interval devine tot mai mare pe măsură ce are loc comprimarea, iar atunci cînd ea reduce steaua la raza critică menționată, intervalul tinde spre infinit.

Teoria generală a relativității consideră gravitația drept o modificare a metricei spațio-temporale. Cu cît este mai mare într-un punct dat intensitatea cîmpului gravitațional, cu atît mai mult se modifică metrica, cu atît mai mare devine secunda măsurată în acest punct dacă trecem la un alt sistem de coordonate și măsurăm secunda acolo. Ceea ce în sistemul stelei respective durează o secundă, într-un alt sistem de coordonate devine o oră, un secol, un mileniu, un miliard de ani. În cazul comprimării stelei pînă la raza critică menționată, orice interval de timp devine infinit într-un alt sistem de referință unde nu există un cîmp gravitațional atît de puternic. Creșterea intervalelor de timp în cîmpul gravitațional se manifestă, între altele, în creșterea perioadei oscilațiilor electromagnetice și, respectiv, în creșterea lungimii undelor electromagnetice, în deplasarea spre roșu a liniilor spectrale. Cîmpul gravitațional care corespunde comprimării stelei pînă la raza critică (proporțională, după cum am mai spus, masei stelei și egală pentru masa Soarelui cu 3 km)

transformă perioadele oscilațiilor electromagnetice în perioade infinite. Aceasta înseamnă că radiația electromagnetică încetează. Încetează orice radiație. O stea în procesul de colaps este legată de alte corpuri numai prin gravitație. Potrivit expresiei lui I. B. Zeldovici, steaua se prăbușește într-un mormînt gravitațional.

Colapsul gravitațional face parte din procese care diferă principial de procesele relativiste obișnuite, înțelegîndu-se prin cuvîntul „obișnuite" cele „relativ cunoscute de știință, care reprezintă obiectul de bază al cercetării și sînt practic aplicabile". Pentru descrierea acestor procese relativiste obișnuite este necesară luarea în considerare a relațiilor stabilite de teoria relativității, deoarece energiile degajate și absorbite sînt *comparabile* cu masele de repaus ale particulelor înmulțite cu pătratul vitezei luminii. Procesele ultrarelativiste, începînd cu cele de anihilare și generare de perechi electron-pozitron descoperite la începutul deceniului al patrulea al secolului nostru sînt legate de absorbirea și degajarea unor energii de ordinul masei de repaus înmulțită cu pătratul vitezei luminii. Studierea acestor procese apropie știința de soluționarea problemelor celor mai fundamentale pentru epoca noastră privind natura lucrurilor, ne apropie de aplicarea practică a acestor procese și de trecerea la civilizația ultrarelativistă, întruchipare a fizicii subnucleare.

Spre deosebire de evoluția obișnuită (în sensul menționat mai sus) a stelelor pe secvența principală, unde comprimarea gravitațională este echilibrată de reacțiile termonucleare și, mai general, nucleare, începutul și sfîrșitul vieții stelelor se apropie de realizarea integrală a ecuației $E = mc^2$, adică de transformarea deplină a energiei de repaus în energia radiației. În condițiile caracterizate prin presiuni foarte mari, printr-o densitate care depășește pe aceea a nucleului atomic, prin concentrarea întregii mase a stelei într-un glob cu o rază de cîțiva kilometri și printr-o lungime infinită (pentru un observator exterior) a undelor radiate, în această lume a stelelor în stare de colaps au loc la scară subnucleară niște procese pentru moment ne-

lămurite. Limitîndu-ne la teoria relativității restrînse nu putem obține o imagine a acestor procese. Gravitația invadează în acest caz microcosmosul. Față de densitatea uriașă a substanței și față de distanțele foarte mici dintre particule, distanțe cum apar numai aici, în stelele în stare de colaps, interacțiunile gravitaționale, care sînt foarte slabe la scara obișnuită a fizicii atomice, devin foarte intense. De aceea pentru înțelegerea acestor procese este necesară o sinteză a fizicii cuantice a microcosmosului și a teoriei relativității generale, adică a teoriei moderne a gravitației.

În felul acesta destinul final al stelelor depinde în esență de masa lor : stelele cu o masă mai mică de 1,2 din masa Soarelui devin „pitice albe“, stelele cu o masă egală cu 1,2—2 mase ale Soarelui se transformă în stele neutronice ; stelele cu o masă care depășește mai mult decît de 2,5 ori masa Soarelui sînt sortite colapsului și se prăbușesc în „mormîntul gravitațional“. În procesul evoluției este posibilă pierderea învelișului, reducerea masei și modificarea corespunzătoare a destinului final al stelei. Trăsătura caracteristică a astronomiei și a astrofizicii contemporane este legătura strînsă dintre problemele evoluției stelelor și problemele evoluției galaxiilor. Stelele se formează din substanța interstelară și tot ele constituie sursa de completare a acestei substanțe cu prilejul cataclismelor care proiectează în cosmos învelișurile stelare. Această schemă ne duce însă la concluzia că substanța interstelară este în descreștere în Galaxie. O parte a ei rămîne în piticele stabile, cu care se încheie secvența principală, o altă parte în stelele cu o evoluție lentă, care nu depășesc prin masa lor 1,2 din masa Soarelui și nu au apucat în timpul existenței Galaxiei să-și încheie evoluția. Aceasta este prima concluzie care se desprinde din schema evoluției stelelor. Ea privește balanța Galaxiei, referindu-se la repartizarea substanței între stele și gazul interstelar. În continuare, din schema evoluției stelelor decurge problema genezei nucleelor grele. Rezerva inițială de hidrogen se cheltuiește treptat pentru formarea heliului. Din heliu se formează oxigen și carbon. Dar într-un anumit stadiu creșterea continuă a numărului nucle-

onilor în nuclee încetează, deoarece noile nuclee se dovedesc instabile şi se dezintegrează înainte de a li se mai alipi noi nucleoni. Putem presupune că în momentele exploziilor pe care le numim apariţii ale supernovelor situaţia se prezintă altfel. Cu prilejul reacţiilor în lanţ care se desfăşoară în acest caz apar numeroşi neutroni, care sînt captaţi de nuclee înainte de dezintegrarea lor. După captarea neutronilor, aceste nuclee devin stabile şi astfel creşterea numărului de nucleoni, adică trecerea la elemente mai grele, are loc fără dificultăţi chiar pînă la elementele care se află la capătul tabelului lui Mendeleev. În momentele exploziei supernovelor, nucleele grele pătrund în gazul interstelar şi, mai departe, în stelele din a doua generaţie care se formează din acest gaz.

Se conturează următorul tablou al originii Galaxiei, respectiv al evenimentelor care s-au petrecut cu 10—15 miliarde de ani în urmă. Norul de plasmă primar, care a constat în cea mai mare parte (poate chiar integral) din protoni şi electroni, s-a comprimat sub influenţa gravitaţiei. Condensarea norului primar s-a desfăşurat neuniform, s-au format unele aglomerări locale, din care apoi au apărut grămezi de stele şi aglomerări şi mai mici în cadrul acestor aglomerări : viitoarele stele din prima generaţie. Norul s-a transformat într-o protogalaxie. El avea o mişcare de rotaţie, ceea ce a împiedicat concentrarea gravitaţională a întregii plasme în centru şi a determinat strîngerea ei într-un plan perpendicular pe axa de rotaţie.

Astronomia contemporană cunoaşte fenomene pentru a căror interpretare este necesară analizarea în continuare a evoluţiei galaxiilor. Avem temeiuri să considerăm că trecerea treptată de la norul primar protono-electronic la protogalaxie şi apoi la galaxia stelară este întreruptă sau, poate, începe cu nişte explozii puternice în nucleele galaxiilor, incomparabil mai puternice decît exploziile supernovelor. Afară de nebulozităţile din galaxia noastră, care apar datorită izbucnirii supernovelor şi care emit unde radioelectrice deosebit de intense, există nişte galaxii foarte depărtate de noi, cu radiaţii hertziene puternice. Pu-

tem presupune că aceste *radiogalaxii* au apărut din obiecte astronomice asemănătoare celor care au fost recent descoperite la hotarele părții de univers cunoscute nouă. Ele se numesc suprastele, obiecte cvasistelare, cvasistele sau *quasari*. După deplasarea spre roșu și deci după viteza cu care se depărtează de noi putem să determinăm distanțele pînă la quasari și, comparînd aceste distanțe cu strălucirea aparentă a luminii, să apreciem luminozitatea lor. Deplasarea spre roșu este în cazul lor foarte mare, lungimea de undă crescînd de cîteva ori. De aici se poate conchide că lumina care ne parvine astăzi de la quasari a fost emisă cu cîteva miliarde de ani în urmă. Niște quasari care ar exista astăzi ar putea fi văzuți pe Pămînt după multe miliarde de ani, dacă pînă atunci va mai exista Pămîntul nostru, sistemul solar în ansamblu și galaxia noastră.

Ce reprezintă un quasar nu se știe deocamdată. Luminozitatea lui, dacă avem în vedere strălucirea aparentă a luminii și uriașa depărtare, depășește de 100 de ori luminozitatea celei mai mari dintre galaxiile pe care le cunoaștem. O asemenea energie poate avea ca sursă comprimarea gravitațională sau niște reacții termonucleare. S-au emis și ipoteze cu privire la o reacție în lanț prilejuită de apariții de supranove, precum și cu privire la explozia unui glob masiv de gaze format în centrul galaxiei respective (o stea de cîteva milioane de ori mai mare decît Soarele).

Cu cît o galaxie se află la mai mare distanță de noi, cu atît este mai mare viteza cu care se depărtează de noi și cu atît mai apreciabilă este deplasarea ei spre roșu. Faptul acesta micșorează strălucirea aparentă a galaxiilor îndepărtate. O asemenea slăbire a strălucirii în anumite limite este compensată prin construirea de telescoape deosebit de puternice pentru observarea domeniilor optic, infraroșu și radio, urmînd ca în viitor asemenea telescoape să fie plasate pe sateliții artificiali și pe Lună. Într-un viitor mai depărtat ei vor fi plasați și pe planetele din grupul Pămîntului și pe sateliții acestor planete. Putem fi siguri că în deceniile care ne despart de anul 2000 vor fi descoperite

surse și mai depărtate, poate mai mari și mai enigmatice decît quasarii.

Obiectele astronomice depărtate, situate la mari distanțe de noi, le studiem așa cum au fost ele cu miliarde de ani în urmă, atunci cînd ne-au trimis razele care ne parvin astăzi. De aceea observațiile asupra quasarilor pot duce la concluzii cosmologice de o importanță cardinală, spre noi reprezentări despre evoluția universului. Putem considera aceasta ca o particularitate caracteristică a prognozelor științifice. Enumerarea problemelor astronomice și astrofizice (evoluția stelelor, stelele neutronice, supernovele, colapsul, originea stelelor cosmice, natura quasarilor) constituie în fond o schemă a prognozei pentru următoarele decenii. Presupunem că în această perioadă vor fi rezolvate într-un fel problemele pe care le ridică descoperirea supernovelor, a quasarilor etc. În astrofizica modernă, aproape fiecare generalizare, aproape fiecare concepție nouă și aproape fiecare rezultat important al observației reprezintă nu numai o constatare ipotetică referitoare la structura edificiului cosmic, ci, prin acest fapt însuși, și o previziune ipotetică despre o dezvoltare a astrofizicii și a astronomiei care va confirma și va concretiza ipoteza emisă sau ne va obliga să renunțăm la ea. De aceea enumerarea problemelor și a ipotezelor privind astrofizica și astronomia contemporană reprezintă în sine un fel de prognoză schematică a dezvoltării științei însăși.

Această prognoză pornește de la observații deja făcute, concepții deja expuse și probleme deja formulate. Totodată orice prognoză în acest domeniu implică noi observații inevitabile și rezultate principial noi. Această inevitabilitate este componenta cea mai certă a prognozei, deși nu permite o descifrare concretă. Să ne gîndim că abia am inaugurat epoca observațiilor extraterestre și a studierii domeniilor neoptice. Noi obervații ne vor confrunta inevitabil cu noi probleme și vor modifica dezvoltarea astrofizicii și a astronomiei.

Ne convingem încă o dată că o prognoză științifică reprezintă în cazul general o tangentă la curba reală,

indicînd direcţia curbei, care poate să se schimbe în momentul următor. Aceasta nu reduce cîtuşi de puţin însemnătatea prognozelor — atît a celor teoretice, cît şi a celor practice. În ştiinţa modernă ipoteza este — într-o măsură mai mare decît oricînd — o condiţie a progresului cunoştinţelor pozitive, certe. În fizica particulelor elementare perioada actuală este o perioadă de reflectare asupra întrebărilor ce vor fi puse naturii cu ajutorul noii generaţii de acceleratori. În astrofizică perioada actuală cere oamenilor de ştiinţă să mediteze asupra problemelor care vor fi adresate naturii cu ajutorul unor telescoape şi al unor receptoare astrofizice de radiaţii plasate pe sateliţi, pe Lună şi apoi pe planetele din grupul Pămîntului. În multe privinţe problemele teoriei particulelor elementare şi problemele astrofizicii coincid. Dar şi unele şi celelalte sînt pregătite sub forma unor ipoteze fizice şi astrofizice, care în acelaşi timp reprezintă prognoze neunivoce ale dezvoltării ştiinţei. Cît despre efectul practic al acestor ipoteze şi prognoze, trebuie spus că ele fac să crească potenţialul intelectual al ştiinţei, ceea ce duce la o acceleraţie cantitativ nedeterminabilă dar sigură a progresului civilizaţiei.

Încercările de a soluţiona unele importante probleme astronomice şi astrofizice particulare impun ca o necesitate ineluctabilă să se recurgă la anumite ipoteze cosmologice generale, ceea ce este de mare însemnătate pentru creşterea potenţialului intelectual al ştiinţei. Din marele număr de probleme cardinale referitoare la structura şi evoluţia universului în ansamblu, ne vom opri asupra următoarelor : 1) omogenitatea universului ; 2) caracterul lui finit sau infinit ; 3) expansiunea universului ; 4) starea lui înainte de expansiune şi 5) caracterul simetric sau asimetric al universului, în sensul existenţei unui număr egal sau inegal de particule şi antiparticule.

E destul să arunci o privire asupra bolţii cereşti pentru a observa distribuirea neomogenă a maselor. Densitatea substanţei stelare diferă considerabil de cea din mediul interstelar. Stelele sînt grupate în galaxii, în care densitatea medie este în mod firesc mai mare

decît în spațiile intergalactice. Soarele face parte dintr-o galaxie alcătuită dintr-o sută de miliarde de stele. Dincolo de ea se află spații lipsite de stele, iar apoi noi galaxii despărțite prin distanțe de 1—5 milioane de ani-lumină. Dacă vrem să cuprindem spații și mai mari, descoperim aglomerări care constau din zeci și sute de galaxii. Unități structurale mai mari nu au fost pînă acum identificate. În general însă putem considera că universul, considerat la dimensiunile pe care le cuprindem cu telescopul, este omogen. Trecînd la dimensiuni mai mari, obținem la limită aceeași densitate a materiei oricare ar fi punctul din care am observa cerul înstelat. Pentru o sferă cu o rază de circa 3 miliarde de ani-lumină în interiorul căreia se află sute de milioane de galaxii, densitatea medie se apropie de 10^{-30} grame de 1 cm^3. Materia existentă în această sferă o putem considera drept un substrat cosmic omogen dacă neglijăm perturbările cu caracter local ale acestei omogenități, inclusiv aglomerările de galaxii. Distanțele dintre asemenea aglomerări sînt foarte mici în comparație cu sfera care cuprinde partea de univers cunoscută de noi. Putem presupune că universul este omogen și dincolo, în spațiile deocamdată inaccesibile telescopului.

Există un anumit „orizont optic“ dincolo de care nu putem să ne aruncăm deocamdată privirea, deoarece (simplificînd întrucîtva tabloul) obiectele ce se află acolo se depărtează de noi cu viteza luminii, deplasarea spre roșu devine astfel infinită, iar sursele devin invizibile. La distanțe simțitor mai mici, postulatul omogenității universului poate fi verificat prin observație. Volumul universului cercetat pentru care omogenitatea este confirmată de observații depinde (în limitele menționate) de puterea telescoapelor de a capta toate domeniile de unde electromagnetice și toate tipurile de radiații cosmice, cu alte cuvinte de mersul noii revoluții din astronomie. Dar de ea depind, așa cum vom vedea în continuare, și răspunsurile la alte probleme cosmologice fundamentale.

Dintre acestea fac parte și problema caracterului finit sau infinit al universului. Aici trebuie să ne în-

toarcem la observațiile succinte privind teoria relativității generale făcute la începutul acestei cărți și să le dezvoltăm întrucîtva. Einstein considera gravitația drept o modificare a metricei, drept o trecere de la proprietățile euclidiene ale spațiului-timp la proprietăți neeuclidiene, drept o curbare a spațiului-timp. Deplasîndu-ne în spațiu, vom întîlni cîmpurile gravitaționale locale ale planetelor, stelelor, galaxiilor, adică curbări ale spațiului-timp, care obligă linia de univers a fiecărui corp să se curbeze, așa cum pe suprafața bidimensională a Pămîntului movilele, colnicele, dealurile și munții curbează traiectoria unui corp care se deplasează pe Pămînt. Dar în afară de aceste curburi locale există o curbură generală a suprafeței planetei noastre. Nu cumva există și în univers, în afară de cîmpurile gravitaționale locale, și o curbură generală analogă ? Dacă spațiul-timp în ansamblu ar poseda o asemenea curbură, mișcarea unui corp expulzat în cosmos dintr-un punct dat într-un moment dat s-ar termina în același punct, în același moment, linia lui de univers s-ar închide așa cum se închide itinerarul unei călătorii în jurul Pămîntului întreprinsă de un explorator care se deplasează pe suprafața Pămîntului fără a schimba direcția. Dar în timp ce în spațiu o linie închisă nu se află în contradicție cu axiomele fizice, o linie de univers închisă și revenirea exploratorului cosmic în același punct și în același moment în care își începe călătoria sînt din punct de vedere fizic imposibile. De aceea Einstein a presupus că timpul nu este curbat, curbura fiind o proprietate exclusivă a spațiului. Un corp care se deplasează liber în univers, indiferent de cîmpurile locale care îi schimbă direcția, va ajunge în același punct după ce va descrie o linie închisă a cărei lungime depinde de curbura spațiului. Aceasta se va întîmpla însă după miliarde de ani ; întoarcerea în același moment nu poate să aibă loc. O asemenea structură a lumii cvadridimensionale, în care dimensiunile spațiale posedă o curbură pe cînd timpul nu posedă nici una, amintesc de un cilindru a cărui suprafață este dreaptă într-o dimensiune (în direcția paralelă axei) și curbă în cealaltă dimensiune (transver-

sală). De aceea lumea lui Einstein este denumită „lume cilindrică".

Acest model al universului este un model închis. El are un volum finit, și prin urmare traiectoria unui corp care se deplasează liber prin el nu poate fi infinită. Dar un asemenea univers finit nu seamănă cu universul finit al lui Aristotel : el nu cunoaște un hotar care să închidă universul. El nu seamănă de asemenea cu modelul unei insule stelare în oceanul fără țărmuri al spațiului vid. În cazul de față, oceanul însuși, deși nu are țărmuri, este limitat. Dacă trecem de la spațiul tridimensional la o suprafață bidimensională, putem găsi cu ușurință o analogie sugestivă : suprafața sferei nu are granițe, dar este finită și nu putem trasa pe ea o linie geodezică de o lungime nelimitată.

O asemenea imagine a spațiului universal nu este unica posibilă. Aici am comparat-o cu o suprafață sferică, pe cînd geometria lumii este o geometrie riemaniană : printr-un punct luat în afara unei drepte nu se poate duce nici o dreaptă care să nu se intersecteze cu prima ; suma unghiurilor dintr-un triunghi este mai mare decît două unghiuri drepte ; perpendicularele duse la aceeași dreaptă se intersectează etc. Dar nu este exclus ca geometria universului să fie de alt tip. Putem să ne închipuim o suprafață curbă de tipul suprafeței unei șele și ne vom convinge că pe această suprafață este valabilă geometria lui Lobacevski : printr-un punct luat în afara unei drepte se pot duce oricîte drepte care nu se intersectează cu ea ; suma unghiurilor dintr-un triunghi este mai mică decît două unghiuri drepte ; perpendicularele duse la aceeași dreaptă sînt divergente. Dacă spațiul universal este un analog tridimensional al unei asemenea suprafețe, ea nu are un caracter închis. De asemenea ea nu are un caracter închis dacă nu există o curbură a spațiului, dacă analogul ei bidimensional este planul.

Dacă lumea posedă o curbură spațială oarecare, aceasta poate să fie constantă sau să depindă de timp. Această din urmă ipoteză a stat la baza modelului propus de A. A. Fridman în 1922, model de univers în expansiune la care ne-am referit în cîteva rînduri.

Deplasarea spre roşu a spectrelor stelelor depărtate, descoperită ulterior, a confirmat modelul lui Fridman. Problema caracteristicilor expansiunii universului rămîne deschisă. Astăzi însă nu putem spune dacă expansiunea este un proces ireversibil sau dacă universul pulsează, urmînd ca expansiunea să facă loc după un timp comprimării. Rezolvarea acestei probleme depinde de datele cu privire la densitatea medie a substanţei în univers şi în general de rezultatele observaţiilor astronomice şi astrofizice. Se poate presupune că problema va fi univoc rezolvată în ultima treime a secolului nostru, adică pînă în anul 2000.

Putem de asemenea aştepta un răspuns de la prognozele pe care le va aduce în această perioadă noua revoluţie astronomică la o altă problemă cardinală cosmologică şi cosmogonică. E vorba de starea universului în momentul în care el a început să se extindă.

Pe baza aprecierilor actuale cu privire la viteza expansiunii, putem conchide că acum 7—14 miliarde de ani universul era un corp ultradens. Care era temperatura lui ? În 1946 Gamov a emis modelul unui „univers fierbinte", respectiv ipoteza unei temperaturi iniţiale foarte mari. Cînd după o perioadă de expansiune densitatea medie a universului a egalat-o pe aceea a unui nucleu atomic, temperatura a ajuns la circa 10^{13} grade, dar anterior, cînd densitatea era mai mare, temperatura era şi mai înaltă.

Datele care ne-ar putea permite să soluţionăm problema stării originare a universului sînt strîns condiţionate de observaţiile astronomice şi chiar de unele lucrări cu efect practic. În 1965, în laboratorul firmei „Bell" pentru studierea radiozgomotelor a fost descoperită o radiaţie termică care soseşte pe Pămînt din toate părţile cu egală intensitate. Din caracterul acestei *radiaţii remanente* s-a dedus existenţa unei anumite temperaturi în spaţiul intergalactic, apreciindu-se pe această bază temperatura iniţială a universului în ipoteza modelului „fierbinte". Numeroasele lucrări care leagă acest model de datele astronomice au de-a face cu transformări reciproce ale particulelor elementare

(între altele anihilarea particulelor grele și conservarea neutrinilor și a unor alte particule).

De teoria particulelor elementare este de asemenea strîns legată problema simetriei universului. Teoria particulelor elementare ia în considerare *materia* (electronii, protonii, neutronii etc.) și *antimateria* [1] (pozitronii, antiprotonii, antineutronii etc.). Este oare universul simetric, în sensul că materia și antimateria sînt prezente în el în cantități egale ? Există teorii care deduc din ipotezele cele mai noi cu privire la particulele elementare asimetria universului — inexistența unor concentrări macroscopice ale antimateriei. Corpurile cerești și galaxiile din care constă universul reprezintă materia. Există alte teorii care presupun existența unor antistele și a unor antigalaxii întregi. Ele implică o anumită concepție cosmogonică : admiterea unei *ambiplasme* originare, constînd din materie și antimaterie. Într-un anumit stadiu al dezvoltării universului, în cîmpurile gravitaționale și magnetice neomogene substanța și antisubstanța se despart fără ciocniri între particule și antiparticule. În continuare, evoluția comportă procese de anihilare, la care se recurge, între altele, pentru a explica puternica radiație emisă de quasari.

Cosmologia actuală are un caracter unitar. Problemele menționate mai sus — a omogenității, a caracterului infinit al universului, a expansiunii, a stării inițiale și a simetriei universului pot fi rezolvate numai în cadrul unui tablou unitar. De pildă ipoteza desfacerii ambiplasmei fără ciocniri între particule trebuie să fie pusă de acord într-un fel oarecare cu admiterea unei densități mari a universului în starea inițială, care decurge din teoria universului în expansiune. Există numeroase interdependențe de acest fel, care exclud posibilitatea unei rezolvări izolate a problemelor astrofizice fundamentale. Pe de altă parte, aceste probleme nu pot fi rezolvate fără construirea unei teorii mai generale a particulelor elementare. În același

[1] Am folosit aici termeni utilizați în mod curent. Mai corect ar fi însă „substanță“ și „antisubstanță“ *(N.T.)*.

timp, probleme relativ particulare, cum ar fi natura supernovelor, quasarilor etc. pot găsi o rezolvare univocă numai în conexiune cu soluționarea problemelor fundamentale.

În astrofizica contemporană dezideratul lui Einstein privind „perfecțiunea internă" a căpătat o stringență fără precedent.

Un asemenea deziderat nu poate fi satisfăcut în cadrul *idealului clasic* al explicației științifice. Acest ideal constă în construirea unei scheme la baza căreia stau, ca ultime elemente ale analizei, corpurile discrete în interacțiune. Idealul nou, neclasic al explicației științifice exclude „elementele ultime" ale analizei, el se apropie de imaginea nelineară concepută de Spinoza a unei naturi care interacționează cu sine însăși. Acest nou ideal introduce în știință reprezentarea despre interacțiunea cîmpurilor și despre un sistem autocorelat de particule în care nu numai comportamentul acestora, ci și existența lor sînt un rezultat al interacțiunii. Noul ideal al explicației științifice constă în a include în analiza *existenței* universului prezența unor anumite tipuri de particule elementare și a unui cosmos a cărui structură și evoluție depind de transformarea reciprocă a particulelor și determină la rîndul lor evoluția acestor transformări.

Schimbarea idealului interpretării științifice a reprezentat întotdeauna un punct de cotitură în dezvoltarea civilizației.

Ce poate da civilizației noul ideal neclasic al științei ?

11
Civilizația postatomică

În acest capitol aș vrea să folosesc posibilitatea foarte redusă, dar de însemnătate esențială pentru o prognoză care vizează anul 2000, de a schița contururile civilizației postatomice. În articolul menționat mai sus cu privire la fizica particulelor elementare, Bruno Pontecorvo spunea că a pune problema efectului ei practic este un lucru „*aproape* nelegitim". Voi încerca să mă strecor prin portița pe care mi-o lasă deschisă cuvîntul „aproape".

Dar mai înainte, să-mi fie îngăduită o observație cu privire la succesiunea etapelor civilizației în funcție de descoperirile și sintezele fundamentale din domeniul fizicii. Aceste etape nu sînt despărțite unele de altele prin hotare de tipul cataclismelor imaginate de Cuvier, care suprimă caracterele esențiale ale fiecărei etape anterioare pentru a oferi un teren curat etapei următoare. Succesiunea etapelor ne amintește mai curînd de succesiunea scenelor unei piese de teatru la sfîrșitul cărora apare indicația : „Aceiași ; intră cutare". În secolul al XXI-lea aplicațiile fizicii clasice și ale celei atomice nu se vor reduce la minimum și nici măcar

nu se vor micşora. Se poate presupune că asupra lor se va extinde efectul dinamic al fizicii particulelor elementare (creşterea acceleraţiei).

De altfel, aşa a fost şi în trecut. Aplicarea universală a electrodinamicii clasice (electrificarea producţiei) a accelerat şi a diversificat nu numai aplicarea termodinamicii clasice, ci şi pe aceea a mecanicii clasice. Energetica atomică a dus la accelerarea electrificării. Aplicarea fizicii particulelor elementare va provoca un „efect de rezonanţă" în fizica clasică şi atomică.

Dar centrul rezonanţei se va deplasa. În secolul atomic rolul unui asemenea centru îl are energetica, şi anume atragerea în balanţa energetică a unor resurse deosebit de concentrate şi practic inepuizabile de energie. Încheierea acestei tendinţe, situaţia în care extinderea resurselor energetice utilizabile încetează să devină cea mai importantă problemă tehnico-ştiinţifică poate fi considerată drept încheierea secolului atomic. Se va întîmpla oare aceasta la începutul secolului al XXI-lea sau la mijlocul lui ? Răspunsul la această întrebare depinde mai ales de realizarea proceselor termonucleare dirijate.

După aceea, problema tehnico-ştiinţifică principală şi centrul „efectului de rezonanţă" vor consta în concentrarea de energii maxime în domenii spaţio-temporale cît mai mici. Posibilităţi principial noi ale unei asemenea concentrări se întrevăd în procesele de anihilare a substanţei şi antisubstanţei. Aceste procese care par atît de inaccesibile astăzi vor deveni, poate, prima verigă tehnico-ştiinţifică a secolului postatomic, după cum procesele de dezintegrare a nucleelor de uraniu, care păreau inaccesibile la sfîrşitul deceniului al patrulea, au devenit veriga iniţială a secolului atomic.

Procesele ultrarelativiste de transformare a particulelor pot degaja în caz de anihilare întreaga energie de repaus, care corespunde întregii mase de repaus a substanţei. Conform formulei $E = mc^2$, această verigă va fi egală cu $c^2 = 9 \cdot 10^{20}$ ergi într-un gram, de 1 000 de ori mai mare decît energia care se degajează cu prilejul dezintegrării unui gram de uraniu. Pentru a obţine un gram de antimaterie utilizabilă pentru anihi-

lare trebuie cheltuită o energie mai mare decît cea care se degajează în procesul anihilării. Dar dacă am reuşi să izolăm antiparticulele, despărţindu-le de particule, şi dacă am putea să împiedicăm pentru un timp anihilarea, am obţine un acumulator capabil să acumuleze într-un gram de substanţă $9 \cdot 10^{20}$ ergi de energie. Bineînţeles, aceasta nu reprezintă o caracteristică tehnică, ci ciclul limită ideal, canonul director al tehnicii de acumulare. Putem să ne închipuim o antimaterie izolată, captată într-o capcană cu vid şi constînd din „antiatomi" — antiprotoni şi antineutroni înconjuraţi de pozitroni. Putem concepe un exemplu şi mai ipotetic al unui supraacumulator de o capacitate foarte mare. Să ne amintim de particulele cu o masă mare care se combină degajînd o uriaşă cantitate de energie de legătură, adică realizînd un uriaş defect de masă, în nişte particule cunoscute azi de ştiinţă sau care vor deveni cunoscute în viitor. E vorba de quarcii lui Gell-Mann şi Zweig şi de maximonii lui Markov. Dacă asemenea particule ar exista, ele ar putea fi folosite ca un acumulator al energiei consumate pentru obţinerea particulelor menţionate în stare liberă. Participînd la interacţiuni deosebit de intense şi transformîndu-se în particule cu o masă mai mică, ele ar degaja o parte din această energie. Dar acest exemplu ilustrează doar varietatea căilor probabile sau cel puţin posibile de conservare şi de degajare ulterioară a unei energii, care în principiu se poate apropia de $9 \cdot 10^{20}$ ergi într-un gram de substanţă. Cu toată nedeterminarea căilor concrete, *perspectiva* însăşi a unei asemenea acumulări pare probabilă.

Două tipuri de supraacumulatoare pot avea o influenţă cardinală asupra caracterului civilizaţiei. Este vorba în primul rînd despre dispozitive macroscopice care vor utiliza tone şi poate chiar mii de tone de antimaterie. Ele vor putea fi utilizate pentru navele cosmice. Aceasta va permite transformarea unora din aceste nave în observatoare de mari proporţii, cărora rachetele de anihilare le vor imprima viteze foarte mari ; în acelaşi timp, rezerva de antimaterie le va permite să ajungă pînă la periferia sistemului solar şi în oare-



care măsură dincolo de hotarele ei. Nu este vorba despre nave menite să transporte oamenii spre stele, și nici măcar despre stațiuni automate care să se apropie de stele și de planetele acestora. Realizarea unor asemenea călătorii este puțin probabilă, cel puțin la începutul secolului al XXI-lea, și, după toate probabilitățile, chiar și la mijlocul lui. În cadrul sistemului solar se va realiza, poate încă la sfîrșitul secolului nostru, valorificarea parțială a suprafeței și poate și a subsolului Lunii și planetelor din grupul Pămîntului : Mercur, Venus și Marte. Antimateria folosită ca acumulator de energie utilizată în rachetele cosmice va permite (paralel cu rachetele cu uraniu și poate chiar paralel și după rachete termonucleare) să realizăm mijloace mult mai puternice de transport interplanetar și să accelerăm valorificarea resurselor planetelor din sistemul solar.

Trecerea din sistemul solar în lumea stelară nu va constitui o prelungire a *acestui* proces. Studiul stelelor din Galaxie și a obiectelor extragalactice se va desfășura în condiții noi, deoarece rachetele nucleare, iar mai tîrziu rachetele termonucleare și cele de anihilare vor permite transportarea nu numai pe Lună, ci și pe Mercur, Venus și Marte, ba chiar lansarea spre periferia sistemului solar, respectiv spre Iupiter, Saturn, Uranus și Neptun a unor observatoare astronomice și astrofizice care ne vor transmite informații despre niște fenomene pe care astăzi nici nu le putem imagina. Aceasta va fi a treia revoluție astronomică, dacă vom considera drept începutul primei revoluții apariția lucrării lui Galilei *Nuncius sidereus,* iar drept începutul celei de-a doua, observarea de pe Pămînt și de pe sateliții lui artificiali nu numai a radiației optice, ci și a radiației radioelectrice, a radiației Roentgen, a emisiunii de neutrini etc.

Se pare că folosirea supraacumulatoarelor se va dovedi insuficientă pentru raidurile interstelare. Zborurile interstelare vor fi realizate pe baza unor principii energetice care astăzi încă nu ne sînt clare. Este însă sigur că zborurile spre periferia sistemului solar (și poate și dincolo de limitele acestuia, dar nu pe distanțe interstelare) vor permite efectuarea de obser-

vaţii astronomice în condiţii noi în comparaţie cu observaţiile făcute de pe planetele din grupul Pămîntului. Observaţiilor astronomice pe care le-am putea numi pasive li se vor adăuga forme noi, irealizabile în secolul al XX-lea, de explorare a civilizaţiilor extraplanetare. Pe navele cosmice din secolul al XXI-lea, capabile să ajungă la periferia sistemului solar, vor fi instalate nu numai mijloace de observaţie, ci şi mijloace de transmitere în cosmos a informaţiei despre planeta noastră şi despre populaţia ei. Dacă în univers cineva ne caută, o acţiune reciprocă întreprinsă de pe Pămînt cu mijloace de mare putere în ceea ce priveşte distanţa şi volumul informaţiei va mări de mai multe ori „secţiunea eficace" a civilizaţiilor care merg una în întîmpinarea celeilalte.

Această secţiune va creşte de mai multe ori, dar va rămîne totuşi foarte mică, deoarece nu e vorba numai de scara cosmică, ci de scara istorică umană a timpului. Dar aşteptarea întîlnirii cu civilizaţiile extraterestre nu conţine nici o picătură de mesianism. Este una dintre direcţiile cercetărilor ştiinţifice ; în principiu ea nu se deosebeşte de căutarea quarcilor. Este vorba despre probabilitatea foarte mică, şi totuşi mai mare decît zero, a achiziţionării unei informaţii foarte concentrate. Volumul şi valoarea acestei informaţii nu pot fi prevăzute. Pentru a cheltui fonduri în vederea căutării unei asemenea informaţii este suficient să ştim că toate aceste probabilităţi, care se multiplică între ele (parvenirea semnalelor în lumi populate, receptarea de semnale din partea lor, descifrarea raţională, valoarea informaţiei obţinute etc.), sînt mai mari decît zero. Aşa procedăm şi atunci cînd căutăm particule ipotetice a căror existenţă nu este exclusă de anumite interdicţii şi care se încadrează într-o concepţie necontradictorie. Dar nu numai atît. Căutarea unor civilizaţii extraterestre are sens chiar în cazul unei probabilităţi nule a obţinerii unui răspuns la scara umană (nu cosmică) a timpului [1]. Imaginea tradiţională a bătrînului care plantează pomi ştiind că din roadele lor se vor înfrupta

[1] Vezi I. S. Şklovski, *op. cit.*, cap. 22 şi 26.

alții simbolizează o caracteristică esențială a civilizației și progresului : extinderea în timp și spațiu a subiectului în numele căruia și în al cărui interes muncesc oamenii. Această extindere cuprinde generații viitoare tot mai îndepărtate și totodată contingente tot mai largi de ființe cugetătoare. Nu avem nici un temei de a limita acest proces la dimensiunile Pămîntului, ale sistemului solar și chiar ale Galaxiei și la scara temporală a existenței civilizației terestre.

Nu aș vrea să mă opresc mai amănunțit asupra problemei civilizațiilor extraterestre. Aceasta nu numai pentru că această problemă este tratată destul de temeinic în cartea lui I. S. Șklovski *Universul. Viața. Rațiunea,* la care m-am referit în repetate rînduri. Există și un alt motiv. În prognozele pentru anul 2000 accentul principal se pune pe legătura dintre perspectivele tehnico-științifice și alegerea planurilor economice optime, a structurii optime a investițiilor în economie, cultură și știință, precum și pe o anumită certitudine a acestor prognoze. Secolul atomic cuprinde decenii în care se poate vorbi nu numai despre mutațiile *posibile* în tehnică și în economie, ci se pot, de asemenea, confrunta probabilitățile diverselor mutații, reperînd mutațiile cele mai probabile și alegînd pentru ele structurile economice optime. În acest cadru prognoza referitoare la civilizația postatomică are un singur obiectiv : să arate că în limitele secolului atomic se pregătește o nouă treaptă a progresului științifico-tehnic, treaptă care astăzi nu poate fi luată în considerare din punctul de vedere al alegerii unei realizări economice optime.

De aceea noțiunea de civilizație postatomică cuprinde mutații care nu sînt certe nici în privința caracterului și orientării lor, nici sub raport cronologic. Nici măcar începutul civilizației postatomice nu poate fi fixat (de exemplu, în primele decenii ale secolului al XXI-lea sau la mijlocul acestuia). Putem doar să presupunem (operînd cu jumătăți de secol, nu cu decenii) că după ce reacțiile termonucleare dirijate vor oferi omenirii resurse energetice practic nelimitate, obiectivul principal va consta în miniaturizarea surselor de energie uti-

lizate. Atunci supraacumulatoarele de mare capacitate vor avea pentru fizica particulelor elementare rolul de verigă spre realizarea practică, analog rolului pe care l-a avut dezintegrarea uraniului pentru fizica atomică sau inducția electromagnetică pentru electrodinamica clasică.

A doua cale de valorificare a fizicii particulelor elementare pentru acumularea energiei constă în crearea unor dispozitive de dimensiuni foarte mici, în care energia de anihilare se va transforma în energie electrică, termică, mecanică sau chimică și va crea la nivel milimetric, iar apoi la nivele și mai mici puternice cîmpuri electromagnetice, mari tensiuni, temperaturi, presiuni, viteze ale unor reacții chimice endotermice. O asemenea miniaturizare a resurselor de mari energii poate continua ajungînd la scara micronică și chiar submicronică. Ea va avea ca urmare o schimbare radicală în tehnologie. La timpul său, electrificarea a permis sudarea arborelui unui motor electric cu arborele sculelor de lucru (burghiuri, freze etc.). Aceasta a făcut inutile o serie de mijloace complicate de transmisie mecanică. În epoca noastră (înțelegîndu-se prin aceasta o perioadă previzibilă mai mare, care cuprinde și sfîrșitul secolului), electronica cuantică permite aplicarea energiei unui cîmp electromagnetic variabil nemijlocit asupra obiectivului acțiunii tehnologice, și într-un număr tot mai mare de operații aceasta înlătură nevoia de a transforma energia electrică în energie mecanică cu ajutorul unui motor electric sau în energie termică cu ajutorul unui cuptor electric. Acțiunea directă a fotonilor se poate desfășura chiar și la nivel molecular.

Pentru moment însă generarea de energie nu a putut fi miniaturizată. În lasere ea este concentrată, dar în acest caz este necesar transportul energiei electrice care alimentează sursele primare ale radiației concentrate de laser. În cazul folosirii energiei de anihilare, însăși sursa de alimentație se miniaturizează. Putem

concentra într-un dispozitiv de cîţiva milimetri cubi o energie de ordinul a zeci de mii de kilowaţi-ore, fără a conecta acest dispozitiv cu nişte conductori sau emiţători optici de energie.

În natură întîlnim două tipuri de procese, la care ne-am mai referit în capitolul despre informaţie. Primul tip este acela al proceselor de mare energie. El se caracterizează prin absorbţia şi degajarea unor cantităţi mari de energie o dată cu o creştere relativ mică a entropiei şi negentropiei. Procese de acest fel sînt, de pildă, în circuitul apei, ridicarea şi căderea acesteia ; de asemenea, acumularea de energie în clorofilă şi degajarea ei în procesul de ardere a combustibilului, precum şi toate celelalte procese care utilizează energia solară la scară macroscopică. Energetica clasică constă în folosirea acestui tip de procese. Le putem adăuga, cu unele rezerve, şi degajarea energiei nucleare, deşi acest proces este însoţit de o modificare mult mai mare a entropiei şi, afară de aceasta, nu este legat de Soare.

Celălalt tip îl reprezintă procesele de mare entropie. Este vorba despre modificări considerabile ale entropiei şi deci ale negentropiei, dar care nu cer decît transformări şi transporturi de energie de proporţii foarte reduse. Un exemplu de acest tip indicat de J. Thomson a fost menţionat în capitolul despre informaţie : aşezarea într-o anumită ordine a unui pachet de cărţi, care cere o energie mai mică decît cea care se degajează atunci cînd arde o moleculă de parafină.

Procese de mare entropie se întîlnesc în natură în moleculele de ADN şi ARN şi în creierul animalelor superioare (cea mai mare concentrare de negentropie o găsim în creierul omului). În tehnică ele se întîlnesc în instalaţiile cibernetice şi în diversele tipuri de telecomunicaţii. Procesele de mare entropie sînt procese de transformare şi transmitere a informaţiei. Dacă considerăm producţia în ansamblul ei, constatăm că procesele de mare entropie care se desfăşoară în creierului omului sau în instalaţiile cibernetice ce îl

imită dirijează procese de mare energie. Ele îndeplinesc rolul expeditorului de încărcături care scrie adrese, bunăoară pe niște vagoane cu cărbune cu o anumită destinație. Scrierea adreselor nu cere decît o energie mică, dar conține o informație mare și permite crearea unei negentropii mari. Dar crearea acesteia este doar inițiată prin scrierea adreselor. Negentropia se realizează atunci cînd are loc transportarea efectivă a încărcăturilor la adresele programate.

Să ne închipuim acum că drept combustibil nu este folosit cărbunele, ci o substanță care conține într-un centimetru cub tot atîtea calorii cîte există într-un tren întreg cu cărbuni. Consumul de energie pentru transportarea acestor cuburi depășește doar cu puțin consumul de energie pentru întocmirea adreselor și trimiterea de scrisori de trăsură. Se va înțelege acum că miniaturizarea transformărilor energetice și a transporturilor de energie cu ajutorul unor supraacumulatori de mare capacitate modifică raportul dintre informație și energetică, dintre procesele de mare entropie și cele de mare energie.

Aceasta nu înseamnă că energetica miniaturizată poate fi automatizată fără procese de mare entropie care s-o dirijeze. Este posibil ca trimiterea de scrisori de trăsură și lipirea de adrese pe încărcăturile energetice să devină inutile și ca aceste încărcături să poată fi ele însele trimise la destinație cu aceeași ușurință ca niște scrisori de trăsură. Realizarea informației negentropice devine aproape tot atît de ușoară ca și recepționarea ei. Dar în cazul general alcătuirea de lanțuri informaționale de mare entropie lungi și complexe trebuie despărțită de procesele de mare energie. Aceste lanțuri permit să se efectueze o mulțime de calcule *înainte* de procesele de mare energie și astfel să se aleagă pentru aceste procese o schemă optimă. Dar în cazul folosirii de supraacumulatori alegerea schemei optime poate include procese de mare energie. În cazul unei complexități prea mari a modelării de mare en-

tropie (cu utilizarea de energii mici), o instalaţie cibernetică poate să determine un proces de mare energie, să aprecieze rezultatul lui şi, pornind de la acest rezultat, să ajungă la o anumită soluţie optimă. În felul acesta, instalaţia energetică va cuprinde *blocuri de experimentare*. În general un mecanism cibernetic, ca mecanism pur de mare entropie care pune în funcţiune sau face să înceteze funcţionarea unor instalaţii de mare energie, va fi completat de un mecanism cibernetic în care vor fi înglobate supraacumulatoare de mare capacitate.

Probabil că aceste acumulatoare vor fi montate în nişte scheme care vor imita muşchii. În capitolul consacrat biologiei moleculare s-a vorbit despre instalaţii de forţă alcătuite din polimeri artificiali capabili de reacţii motorii. Prezenţa într-un muşchi artificial a unui acumulator care practic nu are nevoie să fie reîncărcat timp de decenii şi chiar secole va face ca asemenea mecanisme să nu depindă de alimentarea cu energie din exterior. Dimensiunile miniaturale ale acestor acumulatoare de proporţii milimetrice sau chiar mai mici vor permite să dispunem în mecanism de un sistem complex de muşchi independenţi unul de altul, legaţi fiecare cu un sistem de receptori artificiali. Ei se vor număra cu sutele sau cu miile în fiecare „organism“ format din polimeri şi acumulatori. Complexitatea funcţiilor lui va fi practic nelimitată.

În medicină şi în cercetările fiziologice va fi deosebit de eficientă includerea în organismele vii a unor acumulatori care vor funcţiona timp de decenii şi vor crea în organism un mare sistem coordonat de efecte electrice, termice şi mecanice (inimi artificiale, plămîni artificiali).

S-ar putea prelungi la infinit lista aplicaţiilor posibile ale superacumulatorilor. O asemenea măsură ţine de domeniul fanteziei, căreia în această carte i se rezervă un rol modest. Ea se limitează la construirea de ilustrări convenţionale ale unor prognoze care decurg

în mod logic din tendinţele actuale ale ştiinţei şi permit determinarea efectului eventual al acestor tendinţe. Tot ce s-a spus despre superacumulatori nu este decît o ilustrare a tendinţei reale a fizicii contemporane a particulelor elementare. Fizica contemporană a particulelor elementare permite să obţinem o sporire a negentropiei în natură, la nivelul celulelor spaţio-temporale, de ordinul a 10^{-13} cm şi a 10^{-24} s. În aceste celule (sau poate în celule cu cîteva ordine de mărime mai mici) au loc, probabil, nu nişte mişcări continue care se supun cauzalităţii relativiste, ci transformări de particule, adică modificări care afectează nu comportamentul, ci existenţa particulelor de diverse tipuri. La acest nivel negentropia poate să crească în forma cea mai adecvată pentru o utilizare practică atunci cînd se formează *antimaterie*.

Nu este însă de loc evident că negentropia la nivelul unor domenii spaţio-temporale tot mai mici înseamnă trecerea civilizaţiei la un nivel superior. Termenii „civilizaţia relativistă" sau „civilizaţia atomică", ca şi termenii „civilizaţia ultrarelativistă" sau „post-atomică", corespund însă unei viziuni care presupune tocmai o asemenea legătură între negentropie şi civilizaţie. În ce măsură este legitimă această viziune ?

Noţiunea de civilizaţie este o noţiune dinamică, inseparabilă de noţiunea de creştere, de progres, de ideea unui ansamblu de trăsături caracteristice ale omului care au apărut împreună cu el şi se dezvoltă pe măsura depărtării omenirii de momentul apariţiei ei pe Pămînt. Definiţia civilizaţiei depinde de definirea omului în opoziţie cu natura şi de definirea progresului.

Delimitarea omului de natură nu înseamnă că el este situat în afara naturii, ci înseamnă că existenţa omului nu este supusă numai legilor generale ale naturii — mecanice, fizice, chimice şi biologice ; în acelaşi timp, existenţa lui subordonează procesele mecanice, fizice, chimice şi biologice ţelurilor spiritului gînditor [1].

[1] K. Marx, F. Engels, *Opere*, vol. 20, Editura Politică, 1964, p. 528.

Eliberarea omului de adaptarea pur biologică la mediu, trecerea la o adaptare specific umană, la supunerea forţelor înconjurătoare ale naturii în concordanţă cu ţelurile omului — aceasta este esenţa civilizaţiei, care apare o dată cu omul şi care prin creşterea ei marchează depărtarea omului de momentul apariţiei lui pe Pămînt. Starea ei măsoară în fiecare epocă intervalul care desparte această epocă de apariţia omului şi a civilizaţiei. Dezvoltarea a ceea ce este specific uman, a ceea ce nu este propriu naturii ca element antinomic omului, „umanizarea" omului, eliberarea lui de subordonarea faţă de natură, „de bestializarea" lui, creşterea *umanului* în om — în aceasta constă definiţia integrală a progresului.

De aici rezultă că definiţia fundamentală a civilizaţiei trebuie să indice mărimea a cărei creştere marchează progresul civilizaţiei şi a cărei valoare mai mare decît zero atestă apariţia speţei umane. Este vorba de totalitatea forţelor naturii dirijate de activitatea conştient orientată a omului potrivit ţelurilor lui, şi îmbinate în aşa fel încît să fie transformată în realitate o anumită imagine preexistentă în conştiinţa omului. De aceea civilizaţia are aceeaşi vîrstă ca şi munca, în sensul de activitate conştient orientată ; ea are aceeaşi vîrstă ca şi folosirea uneltelor. Omul care s-a desprins de natură, care îşi supune forţele naturii pentru realizarea unor ţeluri preexistente în conştiinţa lui este un *toolmaking* animal [1].

Uneltele de muncă sînt mijloacele mecanice care subordonează ţelurilor omului nişte forţe ce depăşesc prin proporţiile lor posibilităţile fiziologice ale organismului uman (pîrghia) sau acţionează la o distanţă inaccesibilă mîinii omului (un băţ, o piatră lansată de mîna omului), sau realizează o presiune inaccesibilă mîinii omului asupra unei suprafeţe (o pană, lama unui

[1] K. Marx, F. Engels, *Opere*, vol. 23, p. 192.

cuțit). După ele urmează folosirea naturii pentru obținerea unor temperaturi inaccesibile organismului (focul). Apoi vine intervenția în procesul de răspîndire a plantelor utile (semănatul) și în condițiile de vegetație (irigația), aruncarea în balanță a unor energii utilizabile pentru țelurile omului : energia potențială și cinetică a apei (roțile hidraulice) etc.

Probabil că unul dintre indicatorii integrali ai civilizației va fi totalitatea forțelor naturii îmbinate de om potrivit țelurilor sale, și mai exact, raportul dintre această totalitate și forțele omului care îmbină aceste forțe ale naturii. Acest indicator este proporțional cu productivitatea muncii, indicatorul economic fundamental al civilizației. Drept indicator al progresului servește viteza de trecere la o îmbinare mai profundă a forțelor naturii conform țelurilor omului, eliberarea mai deplină a omului de sub dominația forțelor oarbe ale naturii, de sub dominația selecției biologice, umanizarea mai deplină a omului, debestializarea lui mai deplină. Punctul de plecare al acestui proces este munca, ea este cea care pune în locul adaptării biologice a omului la mediu adaptarea umană a naturii la țelurile dinainte fixate. Ulterior omul începe să schimbe caracterul operațiilor tehnologice, încălcînd tehnologia care s-a dezvoltat în mod spontan și transformînd-o conștient pentru a obține rezultate dinainte previzibile. Ca obiectiv al intervenției propriu-zis umane, specifice omului, orientate spre un scop, apar nu numai rezultatele actului tehnologic, ci și parametrii lui, nu numai *ce*, ci și *cum*. Omul ia în considerare diversele variante ale proceselor tehnologice, le compară și ajunge la unele concepte generale.

E vorba de niște concepte ale științelor naturii. Respectarea parametrilor tehnologiei se poate sprijini pe tradiție, dar căutarea de noi parametri se bazează pe cunoașterea mecanismului cauzal lăuntric al fenomenelor. O producție care asigură un progres continuu este știință aplicată. Progresul tehnicii este asigurat de aplicarea științelor naturale, de căutarea unor con-

strucții și procese care să se apropie cît mai mult nu de niște simple normative tehnice, ci de scheme fizice (de pildă căutarea randamentului maxim).

Cu timpul asemenea cercetări duc la căutarea sistematică și continuă a unor adevăruri științifice care nu au un efect aplicativ nemijlocit. Acest moment reprezintă o treaptă deosebit de importantă a umanizării : omul se emancipează în activitatea sa de dominația necesităților nemijlocite ale producției. Acum capătă un caracter hotărîtor o muncă științifică sistematică „dezinteresată". Caracterul sistematic înseamnă că succesiunea investigațiilor științifice se supune logicii lăuntrice a științei însăși, că în mod ideal ele nu depind de impulsuri aleatorii sau exterioare.

Pătrunderea în domenii tot mai „dezinteresate" ale științei (adică în domenii ce nu au în vedere înrîurirea directă asupra *nivelului* producției și consumului, ci dinamica acestuia, progresul lui), este legată de extinderea ierarhiei sistemelor ordonate cunoscută de oameni, de studiul structurii și al stărilor corpurilor macroscopice, apoi al moleculelor, atomilor nucleelor și al particulelor subnucleare. Știința sesizează caracterul ordonat, legic al naturii, dezvăluie armonia acesteia, negentropia, care permite folosirea pentru scopurile omului a proceselor ei „entropice". Știința găsește (și creează) în mișcarea dezordonată a moleculelor diferențe de temperatură care permit transformarea acestei mișcări dezordonate a moleculelor în mișcări uniforme, ordonate ale unor mari ansambluri de molecule, în mișcarea unor corpuri macroscopice. Aceasta este esența transformării căldurii în lucru mecanic. Crearea de diferențe de temperatură, adică creșterea negentropiei necesită o creștere a entropiei, o cheltuire de energie în forma ei utilizabilă. De pildă, creșterea negentropiei cu prilejul creșterii temperaturii aburului sau a gazului într-un motor termic (creșterea diferenței de temperatură între cazan sau cilindru și condensator) lichidează diferența de nivel dintre energia concentrată în combustibil și energia mișcării termice în mediul

ambiant. Tehnica utilizează *negentropia deja existentă în natură* și face să crească *negentropia în sistemele construite cu o finalitate, artificiale.* În aceste sisteme negentropia exprimă tocmai îmbinarea conformă unui țel a forțelor naturii. Trecerile la structuri tot mai mici în care se creează o entropie tot mai mare reprezintă etapele cele mai importante ale progresului tehnico-științific. Civilizațiile care au existat în trecut, ca și civilizația actuală, au avut, drept baze tehnico-științifice acumulări de mari proporții ale energiei utilizabile, negentropii de mari proporții. Oricare au fost sursele naturale de energie — diferențele de nivel ale unor ape (în hidroenergetică), concentrarea energiei în combustibil (în termotehnică) sau existența unor nuclee atomice cu o energie specifică de legătură mai mică decît la alte elemente (în energetica atomică) —, valorificarea lor a constat în crearea unor diferențe de temperatură, a unor diferențe de potențial gravitațional sau a unor diferențe de potențial electric în domenii spațiale relativ mari. În comparație cu civilizația postatomică, atît epocile precedente cît și epoca contemporană sînt epoci ale unei pronunțate concentrări spațiale a acumulării de energie.

Tocmai în concentrarea energiei constă linia fizicotehnică axială a progresului civilizației, în care are loc în măsură tot mai mare îmbinarea conștient orientată a forțelor naturii. Munca este baza civilizației, iar creșterea forței productive a muncii este baza mișcării ei ascendente. Totodată munca este în primul rînd o activitate conștient orientată spre un țel, o ordonare a naturii conform țelurilor omului. Ea constă în valorificarea negentropiei spontane în vederea unei creșteri conștiente, planificate a negentropiei (prin aceasta, după cum ținem minte, se și deosebește cel mai prost arhitect de albina cea mai perfectă), în vederea concentrării energiei acumulate într-o formă utilizabilă.

Creșterea naturală a negentropiei, indiferent dacă s-a desfășurat în pădurile carboniferului sau cu miliarde

de ani mai înainte, în procesul formării elementelor cu diverse energii specifice de legătură a nucleonilor, reprezintă sursa forţelor spontane ale naturii, care se transformă într-o măsură tot mai mare (prin trecerea în domenii spaţiale tot mai mici), în energia utilizabilă a unor sisteme artificial ordonate conform ţelurilor omului. Încă în electronica cuantică avem de-a face cu sisteme microscopic ordonate în care electronii din atom trec în mod coordonat pe orbite inferioare. Dar în acest caz energiile sînt încă mici. În această privinţă sistemele de antinucleoni şi pozitroni şi alte sisteme de antimaterie reprezintă o treaptă principial nouă de concentrare a energiei utilizabile, o nouă treaptă a negentropiei artificiale în microcosmos. Îmbinarea, conform unei finalităţi umane, a forţelor naturii cuprinde de data aceasta interacţiuni care determină transformarea reciprocă a particulelor.

Natura acestor interacţiuni face parte din ansamblul celor mai cardinale probleme cu care este confruntată astăzi ştiinţa. Însăşi formularea acestor probleme face să crească potenţialul intelectual al ştiinţei şi modifică stilul gîndirii fizice.

Noţiunea de stil al gîndirii fizice a fost propusă la începutul deceniului al şaselea al secolului nostru de Pauli şi Born. Ei au dat această denumire caracteristicilor relativ stabile ale teoriei fizice, care determină sau cel puţin limitează prognozele posibile ale dezvoltării în viitor a fizicii [1]. Dacă vom considera schimbările cele mai radicale care probabil se vor produce în stilul gîndirii fizice, se pare că ele vor coincide cu modificările gîndirii ştiinţifice în ansamblu, ba chiar mai mult, cu unele modificări esenţiale ale civilizaţiei.

Care sînt caracteristicile actualului stil al gîndirii fizice ?

În primul rînd abordarea integrală a soluţiilor particulare, reconsiderarea elementelor tabloului lumii pen-

[1] M. Born în „Proc. Phys. Soc.", 1953, *66*, 400 A, 501.

tru rezolvarea celor mai actuale probleme concrete. După cum am mai spus, fizica este confruntată astăzi cu problema cît se poate de concretă a înlăturării valorilor infinite, lipsite de sens fizic, ale masei şi sarcinii, pe care le obţinem atunci cînd ne ocupăm de interacţiunea dintre o particulă şi vid. Dar înlăturarea valorilor infinite şi anume o înlăturare care să nu fie un simplu procedeu matematic efectuat după o anumită reţetă, ci să aibă o semnificaţie fizică, cere rezolvarea unor probleme cardinale ca, de pildă, îmbinarea teoriei relativităţii şi a mecanicii cuantice într-o teorie unitară a particulelor elementare.

Caracterul integral al stilului actual al gîndirii ştiinţifice se îmbină cu căutarea unor rezultate univoce. Antichităţii îi era proprie o reprezentare largă, integrală despre lume, o filozofie a naturii bazată pe intuiţii care cuprindeau întregul edificiu cosmic. Acestea erau însă simple divinaţii, ele nu erau univoce şi, desigur, nici nu aspirau spre univocitate.

Începînd cu a doua jumătate a secolului al XVII-lea concluziile ştiinţei capătă un caracter riguros şi experimental verificabil, sau în orice caz ştiinţa tinde spre aceasta.

Actualul stil al ştiinţei sintetizează într-un mod foarte original pe de o parte viziunea largă proprie antichităţii, iar pe de altă parte univocitatea şi autenticitatea experimental verificabilă proprie fizicii clasice : ştiinţa este în căutarea armoniei universale a firii, dar ea o caută cu ajutorul experimentului şi consemnează rezultatele investigaţiilor în corelaţii cantitative riguroase, care într-o serie de cazuri sînt inseparabile de constatarea unei nedeterminări, de atribuirea unor semnificaţii precise şi certe nu faptelor în sine, ci probabilităţii lor. Savantul de astăzi, ca şi cel de la sfîrşitul secolului, poate că nu l-a depăşit şi nu-l va depăşi pe Aristotel în ceea ce priveşte subtilitatea şi capacitatea de a cuprinde în gîndirea sa întregul edificiu cosmic. În această privinţă gîndirea antică va reprezenta întotdeauna un ideal al ştiinţei. Omul de

știință contemporan rezolvă însă problemele cele mai cardinale ale cosmosului și macrocosmosului cu ajutorul observației și al experimentului, adică, în principiu în mod univoc.

Constatînd aceste caracteristici ale gîndirii fizice contemporane, noi știm cu o relativă certitudine ce bază experimentală va permite realizarea lor, dar nu putem spune decît foarte puțin despre formele în care se vor realiza și despre rezultatele practice pe care le va da această realizare. Prognoza referitoare la supra-acumulatorii de mare capacitate ilustrează niște tendințe reale, dar nu putem garanta că prima jumătate a secolului al XXI-lea va merita denumirea de secol subnuclear sau de secol al acumulatorilor subnucleari așa cum a doua jumătate a secolului al XX-lea a meritat denumirea de „secol atomic". După cum se știe, cu această denumire de „secol atomic" rivalizează și altele : „secolul ciberneticii", „secolul polimerilor" etc. Probabil că și cu denumirea de „secol subnuclear", chiar dacă ea va fi meritată, vor putea rivaliza cu succes și altele. Valorificarea planetelor sau primele cunoștințe pozitive despre civilizațiile extraterestre ar putea să-și pună amprenta în modul cel mai pregnant asupra civilizației secolului al XXI-lea.

Să revenim la problema influenței științei fundamentale asupra caracterului civilizației. Umanizarea vieții omenești, indicatorul fundamental al progresului civilizației, la care ne-am referit mai sus, nu se limitează la emanciparea omului de sub dominația legilor biologice preumane și extraumane. Ea include eliberarea omului de sub dominația forțelor sociale spontane : „saltul din imperiul necesității în imperiul libertății". Această libertate înseamnă, între altele, posibilitatea de a transforma natura, tehnologia, știința, economia, ea presupune transformarea lumii și are un sens *dinamic*. Omul devine tot mai liber nu numai prin eliminarea sau neutralizarea forțelor externe care amenință existența lui *staționară*. El devine tot mai liber într-un sens

pozitiv, activ, el subordonează țelurilor sale forțele naturii, le combină pentru atingerea unui ideal dinainte formulat, ideal care, pe măsură ce trece timpul, reprezintă în tot mai mare măsură nu numai un anumit *nivel* a ceea ce omul primește de la natură, ci și un anumit ritm al creșterii acestui nivel și o anumită accelerare a acestui ritm.

Tocmai acest sens *dinamic* al eliberării omului de forțele spontane și al subordonării acestor forțe față de om permite stabilirea unei legături nemijlocite între umanizare ca linie axială a progresului și știința fundamentală ca bază a unui dinamism tot mai înalt al producției și al civilizației în ansamblu.

Dacă, vorbind despre om, îl privim ca pe un organism unitar în care se desfășoară un sistem complex de procese fiziologice, este firesc să ne punem întrebarea : ce poate da acestui sistem știința fundamentală ?

După toate indiciile, pare pe deplin îndreptățită prognoza privitoare la dirijarea cu succes a proceselor fiziologice la nivelul celular. Cu alte cuvinte, se va putea acționa nu numai asupra ansamblului statistic al celulelor, ci și asupra unei celule anumite sau asupra unui număr mic de celule, nereprezentativ din punct de vedere statistic. Posibilitatea de a da o orientare deosebit de precisă fasciculului de raze emis de laser permite fiziologului și medicului să treacă de la tirul asupra unor suprafețe la tirul asupra unor ținte individuale. O dată cu fluxurile de fotoni, aici își pot găsi o aplicație particulele relativiste cu o masă diferită de zero. În funcție de viteză se schimbă timpul de viață al particulei. Imprimînd unei particule o anumită energie, îi putem asigura un timp de viață suficient de mare pentru ca ea să atingă un anumit punct dintr-un țesut viu și după aceea să se dezintegreze.

În asemenea procese se menține caracterul statistic al legilor : ceea ce putem noi determina privește nu evenimentele — parvenirea unui foton sau a unei alte particule în anumite celule —, ci numai posibilitatea lor. Această probabilitate se realizează pe baza unui mare

număr de experienţe, dar aspectul statistic nu se referă aici la celule, ci la particule : fluxul lor cuprinde un mare număr de particule, reprezentativ din punct de vedere statistic, ceea ce asigură eficienţa tirului îndreptat asupra unei anumite celule.

În mod analog acţionează radiogenetica, la care ne-am mai referit. Aici, în loc ca ansamblul statistic de particule să fie pus faţă în faţă cu un ansamblu statistic de organisme şi selecţionarea modificărilor necesare să se facă de-a lungul unei serii de generaţii, particulele au înaintea lor un singur organism. Oamenii de ştiinţă leagă de genetica medicală speranţa lichidării bolilor ereditare, încă în cursul deceniilor care ne-au mai rămas din secolul al XX-lea.

Omenirea nutreşte astăzi o mare speranţă care are şanse de a deveni o prognoză reală. Este vorba de lichidarea cancerului în cursul deceniului al optulea. Nu este exclus ca descoperirea unor metode eficiente de combatere a cancerului să fie legată de radioterapie.

Este posibil ca dispariţia cancerului să fie o consecinţă a unor descoperiri cu caracter mai general, care vor preciza întregul mecanism de care ascultă procesele histologice din organism. Controlul asupra acestor procese va pune capăt acelei dezvoltări fatale, necontrolabile a ţesuturilor care duce la neoplasme maligne.

Un alt obiectiv în domeniul medicinei şi al fiziologiei constă în descoperirea mecanismului care reglează metabolismul din organisme şi în realizarea controlului asupra acestui metabolism. Rezolvarea acestei probleme ar lichida sau cel puţin ar frîna şi ar reduce considerabil scleroza şi afecţiunile legate de ea. În legătură cu aceasta se pune în mod firesc întrebarea : există oare o limită a posibilităţilor de înlăturare treptată a cauzelor morţii ? Este vorba, de fapt, despre problema nemuririi. Nu este o problemă nouă : oamenii au visat la nemurire dintotdeauna, chiar de la începuturile civilizaţiei, de la apariţia speciei umane pe Pămînt. Astăzi însă problema se pune într-o formă nouă şi destul de reală. Cauzele îmbătrînirii şi ale morţii organismului încă nu

au fost descoperite într-o formă univocă, dar nici nu au fost găsite nişte fenomene care să excludă nemurirea, adică nişte procese care prin însăşi natura lor să nu poată fi oprite prin acţiunea combinată a agenţilor chimici şi fizici la nivelul ţesuturilor, al celulelor şi al moleculelor. Desigur, de la constatarea absenţei unor asemenea incompatibilităţi pînă la elaborarea teoriei îmbătrînirii şi a morţii precum şi a metodelor frînării şi apoi şi a înlăturării acestor procese este un drum lung şi se prea poate ca acest drum lung să nici nu existe. Este mai rezonabil să considerăm că această problemă este rezervată secolului al XXI-lea. Personal consider că nimic nu exclude astăzi ideea că generaţia care va ajunge să vadă anul 2000 va fi ultima sau penultima generaţie muritoare. Dar în deceniile care au rămas pînă la anul 2000 omenirea va fi probabil confruntată cu destule fapte contrare acestei ipoteze. Un adevăr de care putem fi siguri este că cercetarea sistematică a mecanismului îmbătrînirii va duce la o serie de rezultate accesorii, de descoperiri secundare care vor permite o prelungire considerabilă a longevităţii.

Să trecem acum de la latura biologică a înrîuririi ştiinţei asupra vieţii umane la problema socială. Marx a pus în legătură tendinţele obiective care duc omenirea spre socialism cu dezvoltarea forţelor de producţie. Lenin a considerat că electrificarea constituie baza tehnico-ştiinţifică a prognozei economice şi sociale a societăţii fără clase. Prognozele materializării practice a ştiinţei neclasice se situează pe făgaşul acestor idei. Analiza tendinţelor tehnico-ştiinţifice ale secolului atomic arată că materializarea ştiinţei neclasice reclamă transformarea structurii sociale a societăţii. Pînă la sfîrşitul secolului al XX-lea principalul efect al acestei materializări va consta într-o creştere continuă şi *accelerată* a productivităţii muncii. Acest proces se realizează printr-o optimizare graduală, practic continuă a balanţelor economice, a structurii economiei naţionale. Fără o asemenea optimizare, fără o economie planificată însăşi noţiunea de prognoză îşi pierde sensul real. Căci

prognoza nu este o profeţie, ci o anumită variantă a dezvoltării viitoare, confruntată cu alte variante în vederea optimizării economiei. Pentru o asemenea optimizare este necesară o posibilitate efectivă de reconstruire conformă ţelurilor omului a întregii economii naţionale, luîndu-se în considerare informaţia pe care societatea o capătă continuu despre noile tendinţe ştiinţifico-tehnice, despre noile necesităţi şi posibilităţi. Revoluţia tehnico-ştiinţifică contemporană dă un efect maxim în condiţiile lichidării anarhiei capitaliste a producţiei. Dar aceasta nu este suficient. Producţia contemporană realizează noile tendinţe tehnice care apar neîncetat, şi care la rîndul lor reflectă evoluţia practic neîntreruptă a bazelor ştiinţifice ale tehnologiei şi energeticii la scara întregii economii naţionale şi a diverselor ei ramuri. Materializarea în producţie a ştiinţei contemporane şi a aplicaţiilor ei se poate realiza cu o acceleraţie maximă într-o societate lipsită de antagonisme de clasă şi care tinde spre o organizare internă tot mai armonioasă, aşa cum se întîmplă în Uniunea Sovietică şi în celelalte ţări socialiste.

Desigur, progresul ştiinţei, luat în sine, nu poate fi forţa motrice fundamentală a transformării sociale. Dar dependenţa relaţiilor sociale de dezvoltarea forţelor de producţie se menţine şi, mai mult decît atîta, creşte în condiţiile în care în ansamblul forţelor de producţie directe se includ succesiv, întîi ştiinţa aplicată, apoi cercetările ştiinţifice care creează canoane directoare pentru ştiinţa aplicată, şi în sfîrşit cercetările fundamentale.

În această ordine de idei vreau să mai revin o dată la ideea electrificării, emisă de V. I. Lenin în 1920. Această idee realiza sinteza între concepţia ştiinţifică despre dezvoltarea socială — care vede în dezvoltarea forţelor de producţie baza victoriei inevitabile a unei orînduiri sociale armonioase — şi analiza progresului tehnico-ştiinţific ca rezultat al ştiinţei *clasice*. Actualul plan de transformare a producţiei porneşte de la aceeaşi concepţie a dezvoltării sociale şi de la analiza tendinţelor ştiinţei *neclasice*.

În încheiere aş vrea să mă refer la o problemă care l-a preocupat pe Thomas Morus atunci cînd el zugrăvea în *Utopia* sa tabloul viitorului. Este o problemă cît se poate de simplă : fi-vor oamenii fericiţi în viitorul previzibil ? Omului îi este propriu să se obişnuiască cu condiţiile care, la apariţia lor, i-au dat senzaţia de fericire. Legea lui Weber-Fechner afirmă că senzaţiile cresc proporţional cu logaritmii excitaţiilor. De-aici ar rezulta că în cazul unei stări staţionare a factorilor pe care omul îi consideră drept factorii fericirii, senzaţia de fericire ar dispărea. Această senzaţie este asemenea unui cîmp electric, care în lipsa sarcinilor există numai în prezenţa unui cîmp magnetic variabil, cu deosebire că reducerea factorilor nu generează prin inducţie fericire. Omul poate fi fericit numai dacă ceea ce îl fericeşte creşte, ba mai mult, dacă această creştere are un caracter accelerat.

Într-o societate armonioasă aplicarea ştiinţei neclasice, care asigură creşterea accelerată a dominaţiei omului asupra naturii şi a cunoaşterii naturii, creează o situaţie fără precedent în istoria omenirii. Tot ce aduce omului fericire, începînd cu bucuriile cele mai simple şi pînă la cele mai înalte — munca creatoare şi pătrunderea esenţei lumii —, toate acestea cresc accelerat şi creează în conştiinţă senzaţia mereu proaspătă, care nu se opreşte niciodată, a fericirii.

Tocmai în aceasta constă răspunsul la întrebarea *pentru ce ?*, raportată la procesul integral ce se află la baza prognozei pentru anul 2000. Am vorbit despre acest proces cînd ne-am referit la efectul economic al progresului. La întrebarea *pentru ce ?* raportată la o acţiune tehnică şi economică particulară urmează răspunsul : pentru ca indicele economic fundamental să atingă valoarea maximă. Dar pentru ce este necesară această valoare maximă ? Pentru ce este nevoie de un nivel maxim, de ritmuri maxime, de accelerarea maximă a necesităţilor şi a satisfacerii lor, a capacităţii de producţie, a amploarei şi a preciziei concepţiilor ştiinţifice, a tuturor valorilor culturale, a întregii activităţi ?

Răspunsul la această întrebare — *pentru ce?* — este simplu, dar înglobează întreaga complexitate infinită a progresului științific, tehnic, social și cultural. Pentru ca omul să fie fericit. „E Hegel întreg în aceasta, și-a cărților înțelepciune, și tîlcul filozofiei!".

Civilizația postatomică va valorifica întreaga fizică a particulelor elementare încă neelaborată astăzi, după cum electrificarea a valorificat electrodinamica clasică, iar energetica atomică a valorificat fizica neclasică din prima jumătate a secolului nostru. O asemenea prognoză conferă noțiunii de *secol atomic* o anumită claritate. Desemnăm prin acest termen valorificarea a tot ce poartă în sine asemenea teorii neclasice relativ elaborate în prezent, cum sînt teoria nucleului, teoria radiației induse, chimia cuantică, amînînd pentru perioada care se întrezărește dincolo de hotarele secolului atomic tot ce pot promite omenirii — cu un grad considerabil mai mic de certitudine — tendințele deja conturate, dar aflate încă foarte departe de desăvîrșire, ale teoriei particulelor elementare. Includem însă în perioada limitată la data convențională „anul 2000" un complex de prefaceri care cuprinde: 1) transformarea centralelor atomice în componenta principală a balanței electroenergetice, 2) transformarea electronicii cuantice în principalul instrument al tehnologiei și 3) transformarea mașinilor electronice de calcul în pîrghia principală a schimbării caracterului muncii. O atare semnificație atribuită acestei date conferă prognozei pentru anul 2000 un mare grad de determinare, deoarece indică obiectivul fizico-tehnic unitar din care decurg proporțiile cantitative, structura și dinamica producției din anul 2000. Această abordare reduce însă certitudinea cronologică a datei „anul 2000", o face convențională, implică o rezervă subînțeleasă: „poate cu un deceniu mai tîrziu". O asemenea rezervă era cuprinsă și în programul complex GOELRO, care includea și implicațiile electrificării și care prevedea o anumită perfectare a tendințelor tehnico-științifice conturate în deceniul al treilea.

Principala ipoteză referitoare la dinamica economiei, sugerată de tendințele tehnico-științifice care au apărut în a doua jumătate a secolului, constă în creșterea continuă a productivității și în accelerarea ei continuă. În aceste condiții producția socialistă va fi caracterizată printr-o valoare mai mare a indicatorului care cuprinde productivitatea muncii, viteza creșterii ei și accelerația acestui proces.

Vom cita unele cifre care oglindesc previziunile privitoare la accelerația continuă a productivității muncii sub influența energeticii atomice, a aplicării industriale a electronicii și a modificării caracterului muncii cu ajutorul mașinilor de calcul electronice. Aceste cifre nu sînt un rezultat al unei analize speciale concrete și detaliate a eficienței tehnico-economice a acestor tendințe. Le cităm pentru a ilustra legătura dintre tendințele științei contemporane și înaltul dinamism al economiei în epoca noastră, respectiv accelerația continuă a productivității muncii.

Am vorbit mai sus de energetica atomică. Momentul transformării energiei atomice în principala componentă a balanței electroenergetice se va caracteriza printr-un raport simplu : jumătate din întreaga energie electrică se va produce la centralele atomice. Se pare că în această privință anul 2000, ales ca dată convențională a transformării energiei atomice în principala componentă a electroenergeticii, corespunde datei calendaristice care apare în prognozele concrete. Unele prognoze concrete au fost expuse în capitolul *Energetica atomică.* Să adăugăm cîteva date în plus. În 1970 energia provenită din arderea cărbunilor se va cifra la 32% din întreaga balanță energetică ; pentru 1980 cifra respectivă prevăzută este de 20%, iar pentru anul 2000 — 10—15%. Gazele naturale și petrolul vor furniza respectiv 59,66 și 58%, iar hidrocentralele 7,5 și 2%. Energia atomică va furniza 2% în 1970, 7% în 1980 și circa 25% în anul 2000 [1].

[1] După raportul general al lui A. A. Bescinski și D. V. Volfberg *(Naționalnîie obzorî energheticeskih resursov)* și cuvîntul de încheiere al lui A. A. Bescinski la ședința secției A1 a celei de a VII-a sesiuni plenare a Conferinței energetice naționale (Moscova, 1968). Vezi nota de la p. 243.

Pentru ritmul de creştere a productivităţii muncii o importanţă primordială are ponderea energiei atomice în producţia de energie electrică. Energia atomică va reprezenta 25% din întreaga producţie de energie. Dar această pondere în cadrul balanţei energetice revine *centralelor atomoelectrice*. Ponderea electricităţii ca purtător de energie va constitui în anul 2000 peste 50%, iar jumătate din această energie electrică va fi produsă, după cum am mai spus, în centralele atomice [1]. Energia sub formă de electricitate va avea în ultima treime a secolului cel mai mare efect reconstructiv şi dinamic. Faptul acesta este legat de caracterul tendinţelor tehnico-ştiinţifice fundamentale.

Transformarea energiei electrice în componenta principală a balanţei electroenergetice va permite să trecem în domeniul industriei şi al transporturilor, precum şi în agricultură şi în extracţia bogăţiilor subsolului, la metode care solicită consumuri mai mari de energie electrică decît astăzi. O asemenea trecere decurge din unele tendinţe fundamentale la care ne-am referit în această lucrare. Rezolvarea problemei alimentare este legată, după cum am mai spus, de mari cheltuieli de energie pentru producţia de îngrăşăminte, pentru irigaţii şi aprovizionarea cu apă. Epuizarea relativă a resurselor de materii prime comportă creşterea consumurilor specifice de energie pentru extracţia de materii prime. În multe cazuri această soluţie va fi mai eficientă decît explorarea unor zăcăminte energetice mai accesibile, dar care cer în schimb o informaţie deosebit de costisitoare de tipul *ştiu unde*. Transformîndu-se în principala pîrghie a reconstrucţiei tehnologiei, electronica va duce la creşterea nevoii de energie pentru un mare număr de ramuri ale producţiei. Acelaşi efect îl va avea folosirea polimerilor şi a chimiei în ansamblu, care promit în perspectivă o revoluţie deosebit de profundă în folosirea resurselor de materii prime în tehnologie şi în rezolvarea problemei alimentare. În ultima treime a secolului nostru ritmul de creştere a capacităţii centralelor electrice şi respectiv a producţiei de energie electrică va creşte, potrivit

[1] *Ibidem.*

previziunilor, deosebit de repede și, ceea ce este deosebit de important, cu o accelerație considerabilă : capacitatea lor va crește de la 765 milioane kW în 1970 la 11 000 de milioane kW în anul 2000, dintre care 5 500 milioane kW la centralele atomice. O accelerație deosebit de mare va caracteriza deceniul 1990—2000. Instalarea de noi capacități va spori mai mult decît de 2 ori capacitatea centralelor electrice (creșterea prevăzută, de 6 000 de milioane de kW, va fi mai mare decît întreaga capacitate prevăzută pentru anul 1990). În cadrul lor centralele atomice vor da o creștere de 4 000 de milioane de kW[1]. Așadar, centralele atomice, care vor furniza 50% din întreaga capacitate a centralelor electrice, vor ajunge deja în deceniul 1990—2000 componenta preponderentă a electroenergeticii. Constatăm astfel că anul 2000 ca dată cronologică este suficient de apropiat de „anul 2000" ca dată convențională a desăvîrșirii revoluției științifico-tehnice din noua perioadă, perioada valorificării tehnice a științei neclasice.

Paralel cu implicația tehnologică — reconstruirea tehnologiei pe baza electronicii — și cu noile metode în agricultură și în extracția de materii prime, dezvoltarea accelerată a energeticii atomoelectrice duce la creșterea accelerată a înzestrării muncii cu energie electrică și respectiv la creșterea accelerată a productivității muncii. În această privință va fi deosebit de importantă — în afară de creșterea înzestrării cu energie electrică — înrîurirea directă a electronicii, care va face să crească ceea ce am putea numi „efectul tehnologic" al fiecărui kilowatt-oră. Este posibil ca folosirea mașinilor de calcul și de comandă să asigure o creștere și mai mare a productivității muncii. Chiar în condițiile unei accelerații mici și monotone a productivității muncii, produsul național total pe locuitor în întreaga economie

[1] După raportul general al lui S. M. Feinberg *(Atomnîe elektrostanții)* la ședința secției C3 a celei de a VII-a sesiuni plenare a Conferinței Mondiale a Energiei (Moscova, 1968). Vezi nota de la p. 243.

mondială va crește în trei decenii (1970—2000) de 2,5—3 ori. Aceasta este o estimare medie. Pentru țările în care mijloacele și uneltele de muncă aparțin societății, optimizarea planificată a structurii producției poate să asigure o creștere și mai impetuoasă a productivității muncii, o dată cu o sporire și mai considerabilă a produsului național pe cap de locuitor.

NOTA EDITURII

În luna iulie 1971 s-a ţinut la Bucureşti cea de-a VIII-a sesiune a Conferinţei Mondiale a Energiei. Considerăm interesant pentru cititori să prezentăm aici cîteva din datele menţionate în documentele conferinţei.

La sfîrşitul anului 1970 şi începutul anului 1971 puterea totală instalată a tuturor centralelor energetice din lume depăşea 1 miliard kW, producţia anuală atingînd 5 trilioane kWh.

În anul 2000 producţia totală de energie va atinge 30—32 trilioane kWh.

Contribuţia petrolului la consumul mondial de energie a atins în 1970 46%, iar a gazelor naturale 20%, pe cînd contribuţia cărbunelui a scăzut în ultimii 10 ani de la 51% la 31%. Pentru anul 2000 se prevede o contribuţie a petrolului şi gazelor naturale de circa 60%; contribuţia combustibilului

nuclear va prezenta o creştere şi mai rapidă.

În prezent 30% din totalitatea resurselor de energie sînt utilizate pentru producerea de energie electrică. În 1980 producţia totală de energie electrică se va ridica la 10 trilioane kWh.

În ce priveşte centralele nucleare, puterea lor instalată era la sfîrşitul anului 1970 de circa 21 000 MW, prevăzîndu-se o creştere considerabilă — pînă la 115 000 MW în următorii ani (pînă în 1973—1975). Potrivit programelor de construcţie existente, puterea centralelor nucleare va ajunge în 1980 la 200 000—300 000 MW (unii experţi americani prevăd pentru anul 2000 un nivel de 750 000 MW).

Contribuţia centralelor nucleare va creşte mult mai repede decît a celorlalte resurse energetice; ea va fi în 1980 de circa 25% din producţia totală de energie.

Cuprins

Redactor : **Sorin Toma**
Tehnoredactor : **C. Branciu**

coli tipar : 15,5



Tiparul executat sub comanda nr. 10 666
la Combinatul poligrafic „Casa Scînteii",
Piața Scînteii nr. 1
București
Republica Socialistă România

EB

Seria „SINTEZE"

B. G.
Kuzneţov

Ştiinţa în anul 2000

O ştiinţă nouă — futurologia — ştiinţa despre dezvoltarea viitoare a ştiinţei, tehnicii etc.; un autor de prestigiu, gînditor îndrăzneţ şi profund; o lucrare originală, de o factură neobişnuită, care reuşeşte să redea „suflul timpului". Punînd în evidenţă schimbările esenţiale pe care „secolul lui Einstein" le-a adus în concepţiile, metodele şi idealurile ştiinţei, autorul trasează prognoza uimitoarelor realizări ale ştiinţei şi tehnicii în următoarele 3—4 decenii. Dezvoltarea **Fizicii ultrarelativiste** va revoluţiona teoria particulelor elementare. Explorarea microcosmosului se va îmbina cu cercetarea spaţiilor metagalactice de pe observatoare situate în afara sistemului solar. Autorul schiţează contururile **civilizaţiei postatomice,** în care munca omenească va fi radical transformată şi în care omul va începe să domine procesele fiziologice, inclusiv cele de care depind îmbătrînirea şi moartea.

Lucrarea este interesantă atît prin viziunea de ansamblu a treptelor pe care le va urca gîndirea şi acţiunea umană, cît şi prin previziunile privind fiecare din diversele ştiinţe şi discipline: matematica, cibernetica, energetica, electronica cuantică, biologia moleculară, astrofizica etc. sau surprinzătoarele efecte ale intersectării lor. Ea se caracterizează prin vastitatea documentării şi scrupulozitatea în alegerea faptelor, prin seriozitatea analizei şi capacitatea de sinteză, prin lărgimea orizontului ştiinţific, filozofic şi social. O lectură captivantă pentru orice intelectual.

Lei 6,75